

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA

Estación Actinométrica

VADSTENA (UCA—INE)

RED SOLAR

y la

ESTACION VADSTENA

NICARAGUA 1985

J. LOPEZ DE LA FUENTE, S.J.

Reporte Técnico—Investigativo No. 04/86

Por J. López de la Fuente, S.J.

UCA, Managua, 1986.

INTRODUCCION:

Casi toda la energía disponible en la tierra tiene su fuente primaria en el sol, ya de un modo directo ya indirectamente. Excepciones son la energía geotérmica de origen planetario, las mareas que son lunáticas y la energía atómica.

Aunque los astrónomos nos aseguren que el sol debe al fin consumirse y dejar de irradiarnos su beneficiosa energía, como su escala de tiempo es de billones de años, se nos presenta como una energía renovable.

La energía solar se almacena sobre todo en los bosques, en los ríos y en el mar que cubre el 70% de la superficie terrestre; en el subsuelo duerme encerrada bajo la forma de fósiles.

Al ir consumiendo nuestras riquezas naturales agotamos los recursos energéticos, transformando y no pocas veces destruyendo nuestro habitat. Con todo el sol es una fuente “inagotable” de energía durante siglos y disponible si se cuenta con la tecnología apropiada.

Los países tropicales cuentan con un cinturón solar muy favorable con respecto a las naciones nórdicas o a las situadas hacia el cono sur.

Si aplicamos a Nicaragua el concepto de “Razón Solar” (RS), definido como la relación entre la radiación solar recibida en una región y la energía consumida [1] , podemos considerar nuestro potencial solar local.

Al estimar para Nicaragua una capacidad de consumo eléctrico en 350 MWhr dentro de sus $130 \times 10^3 \text{ Km}^2$, con una radiación global media por día de 4500 W hr/m^2 , calculamos un $RS = 70000$; setenta veces mayor que la R.S. correspondiente a los países más desarrollados.

Así pues, aun cuando utilicemos un sistema energético solar con tan sólo un 1% de rendimiento, nos bastaría una superficie cuadrada de 14 kilómetros de lado para captar la necesaria energía solar.

Ciertamente, las limitaciones inherentes a la disponibilidad de la energía solar no justifican el no tratar de explotarla siempre que sea posible; del mismo modo que el bajo rendimiento de un sistema térmico no excusa su empleo en la generación de la energía requerida.

Con todas estas consideraciones en mente, presentamos el presente reporte anual sobre el potencial energético solar, registrado en Nicaragua durante 1985.

Hemos recorrido ya la mitad 1983–85 del camino que nos permitirá llegar a precisar las curvas de nivel energético solar sobre el territorio nicaragüense; y de esta manera, asentar los cimientos de una ingeniería solar apropiada y disponer de una importante información agronómica.

La información solar ha sido recogida, mediante una red de estaciones solares (INE), por medio de integradores continuos con impresión horaria.

En el caso de la estación Vadstena (UCA–INE) en Managua, un procesador de datos HP–3479A y un computador HP–85, registran cada 6 seg., durante las 24 horas diarias los diferentes componentes de la radiación solar; los valores integrados son impresos cada hora y los totales diarios a media noche; además de ser almacenados en un disco magnético para su ulterior procesamiento.

1. Red Solar en Nicaragua.

La red solar, compuesta por cuatro estaciones de 3^a clase y operadas por INE, se extiende desde el N.O. al S.E. en el territorio de Nicaragua. Una quinta estación de 1^a clase y operada por UCA esta localizada en Managua (ver mapa).

No	Estación	Latitud N.	Longitud O.	Alt. s.n.m	Graf— 1
1	Ocotal	13 ⁰ 45'	86 ⁰ 28'	612 mts.	□
2	Chinandega	12 ⁰ 38'	87 ⁰ 8'	60 mts	+
3	Managua	12 ⁰ 6'	86 ⁰ 15'	132 mts	◇
4	San Carlos	11 ⁰ 7'	84 ⁰ 46'	40 mts	△
5	El Rama	12 ⁰ 14'	84 ⁰ 18'	9 mts	X

De una manera general, la radiación global solar en Nicaragua esta contenida en la Tabla —1; donde se han incluido los valores diarios máximos y mínimos de cada mes, con objeto de poder apreciar las radiaciones extremas en comparación del valor medio mensual, representado en el Graf— 1.

Debido a circunstancias imprevistas, falta de baterías, defectos de operación o aparatos dañados, ha sido necesario en la Tabla—1 ajustar algunos valores mensuales o incluso tomar los correspondientes del año 1984, basados en un comportamiento estadístico meteorológico. De este modo ha sido posible disponer de una información bien estimada aunque no exacta en algun valor mensual.

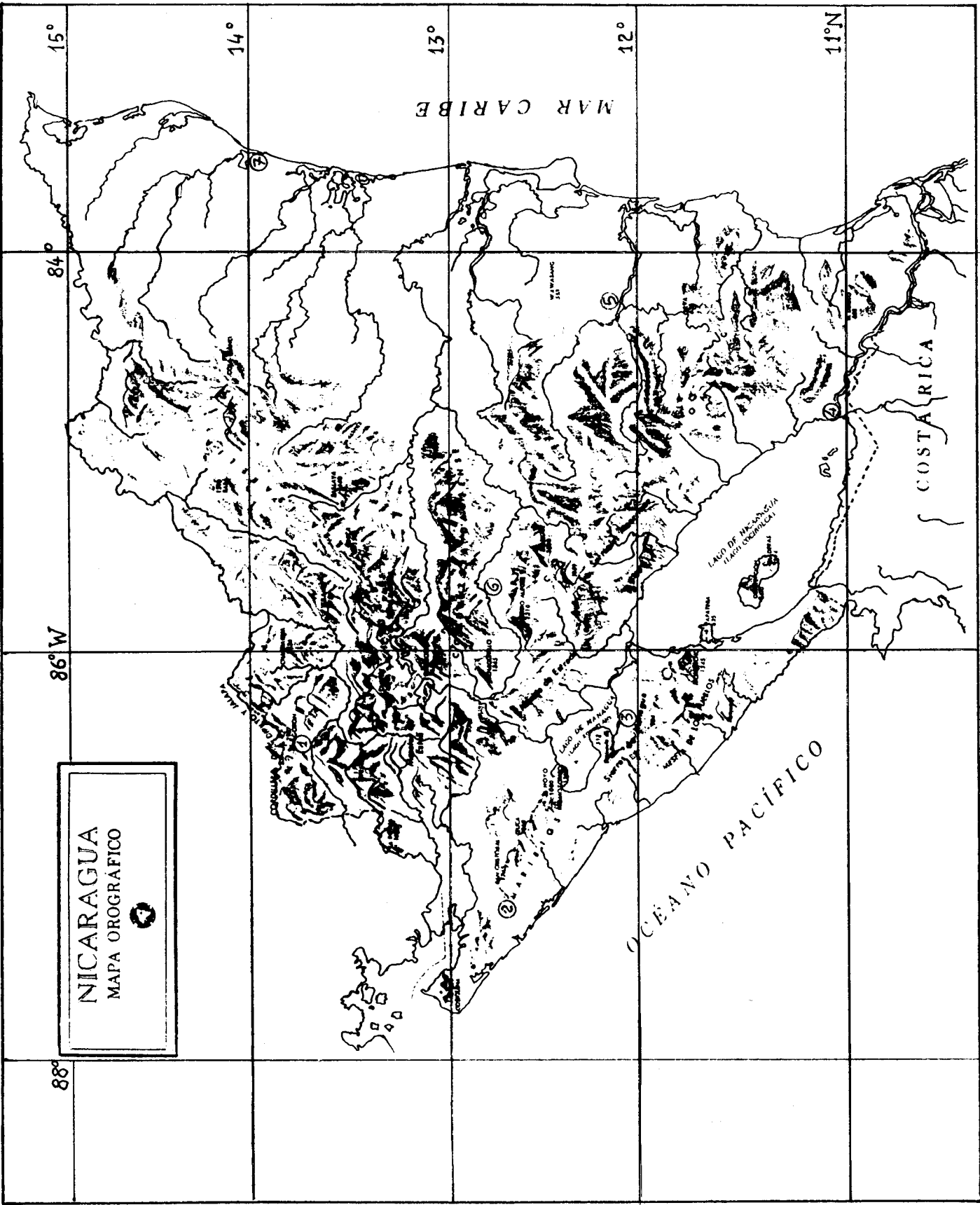
En el Graf—1 observamos dos tipos de curvas, a saber: a) y b)

a) la curva de comportamiento seguida por Ocotal, Chinandega y Managua.

b) la curva correspondiente a San Carlos y El Rama.

Ambos tipos presentan una cúpula entre Enero y Mayo, y un deslizamiento entre Junio y Diciembre.

c) San Carlos aparece como la estación intermedia entre la Zona del Pacífico y la Zona del Atlántico, con una cresta **situada en el tipo a)** y un deslizamiento valorado en el tipo b).



1985	OCOTAL Wh/m ² día	CHINANDEGA Wh/m ² . día	MANAGUA Wh/m ² . día	SAN CARLOS Wh/m ² . día	EL RAMA Wh/m ² . día
	Max Med Min	Max Med Min	Max Med Min	Max Med Min	Max Med Min
ENR	6119 4871 3270	5669 4157 388	6421 5412 3996	6142 4490 1855	4690 3675 1466
FEB	6145 4871 3273	6177 5469 2962	6517 5463 3459	6822 4937 2489	5363 4010 1590
MAR	7177 5966 3787	7222 5953 4035	7349 6196 4728	7644 5942 3429	6489 5015 2457
ABR	7353 5764 1320	7446 5970 3881	7309 6137 1760	7505 6101 2535	---* 5149 ---
MAY	7114 5697 3880	6450 4984 3016	7436 6167 4316	7277 5555 3308	6164 5026 3064
JUN	6978 5465 3205	6766 5125 1955	7000 5206 2641	5424 3524 743	5914 2672 252
JUL	7113 5419 3781	7068 5857 4060	7052 5403 3036	5992 3331 1118	5591 2717 705
AGT	7043 5840 3250	7248 5676 3642	7204 5430 2655	6859 3613 1529	6086 3137 287
SPT	7030 5952 1952	7066 5416 3350	7066 5395 2546	6892 4273 1252	6048 3807 1186
OCT	6612 4975 1880	6331 5072 2760	6688 4988 3195	6613 4565 1309	5418 3821 708
NOV	5795 4785 3143	6409 5232 4233	6076 4768 2463	6486 4027 1703	5296 3629 864
DIC	5479 4265 3093	5738 5150 3947	5864 4699 2966	5763 3965 1640	4929 3368 1497
Σ /12	6663 5324 2986	6632 5336 3186	6854 5439 2914	6618 4524 1909	5635 3838 1280
TOTAL ANUAL	1943.423 KWh/m ²	1947.765 KWh/m ²	1985.344 KWh/m ²	1651.321 KWh/m ²	1400.737 KWh/m ²

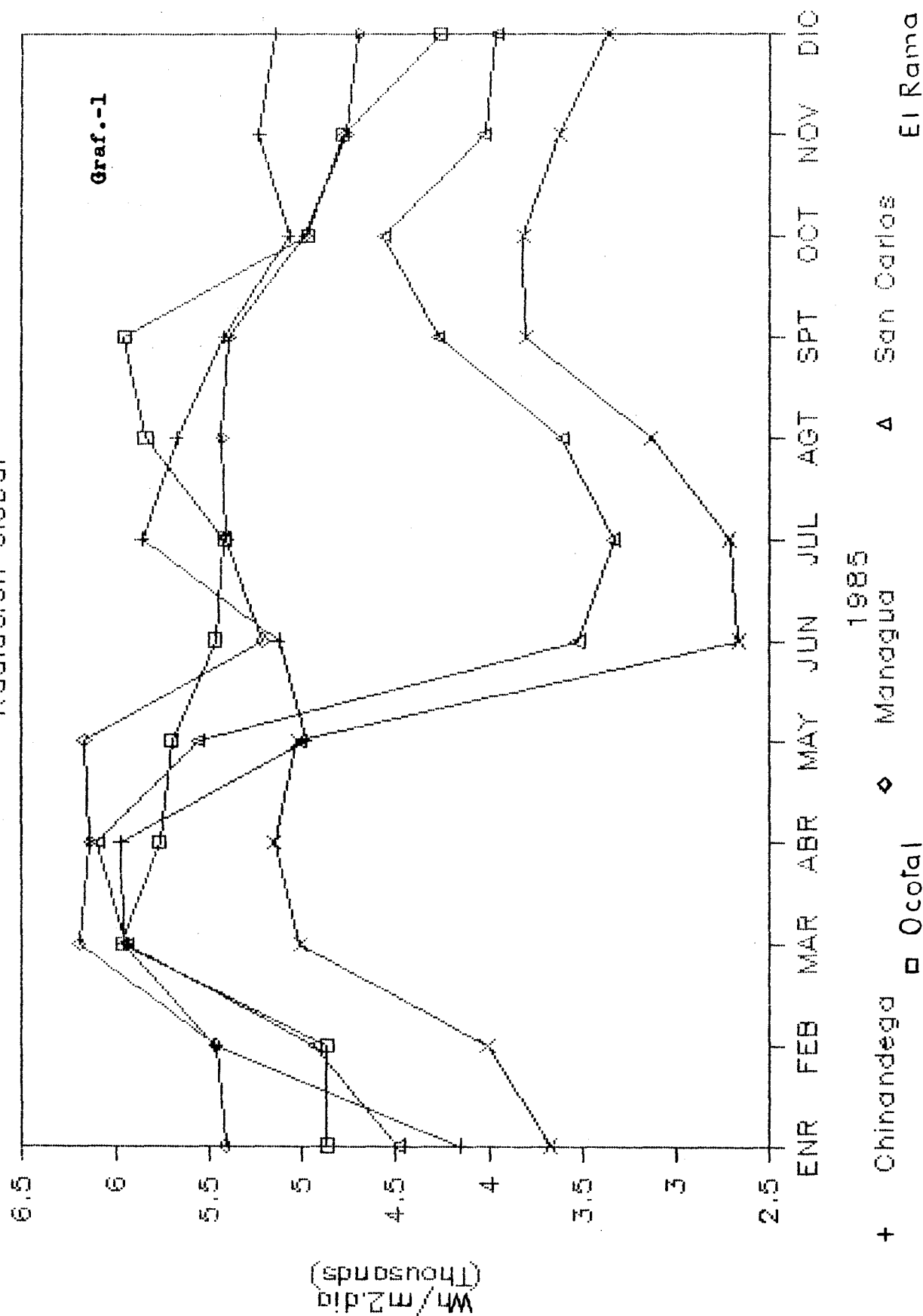
*Dato Interpolado
+Dato 1984

TABLA - 1

Red Solar en Nicaragua - 1985

RED SOLAR DE NICARAGUA-1985

Radiación Global



Como las comparaciones deben ser proyectadas estadísticamente a lo largo de un período de al menos seis años, podemos tomar las estaciones climatológicas del “verano tropical” (DIC–MAY) y del “invierno tropical” (JUN–NOV) en vez del año cronológico usual. Las curvas del tipo a) y b) presentan un comportamiento que se ajusta a estas dos estaciones climatológicas (Graf–1).

Por tanto San Carlos se comporta como de la Zona–Pacífico en el verano y de la Zona–Atlántico en el invierno, mientras, las demás estaciones solares presentan valores característicos de cada zona climatológica.

El estudio de la Tabla–1 nos permite las siguientes consideraciones:

1) En Ocotol, Chinandega y Managua se mantiene la cantidad anual de 2 MWh/m^2 , como también se registró en 1983 [2].

Los valores medios obtenidos se diferencian a lo más en un 3.4% con respecto a sus homólogos del 83.

2) La rad. global en Ocotol y Chinandega sólo se diferencia en un 2.2% entre sí y son un 2% menor que la medición anual en Managua.

Concluimos, por tanto, que por estar tres estaciones pasa una línea de nivel equipotencial en rad. global, la cual se desvía hacia el Pacífico al cruzar el gran lago de Nicaragua, según dicho en c).

3) Como en 1983, San Carlos vuelve a presentar un valor de radiación un 17% menor que en Managua, con valor medio de 5165 Wh/m^2 . día en el verano y de 3889 Wh/m^2 día en invierno.

4) Por primera vez se presenta la evaluación de El Rama, que apenas llega a 1.5 MWh/m^2 anual, es decir un 29% menor que la rad. medida en Managua y un 15% menor que en San Carlos.

Para El Rama, el valor medio diario durante el verano no supera los 4374 Wh/m^2 y los 3297 Wh/m^2 en el invierno.

Con el nuevo emplazamiento de las estaciones solares (6y7) en Muy Muy ($12^\circ 46' \text{ N}$, $85^\circ 38' \text{ W}$, 320 mts. s.n.m.) y en Puerto Cabezas ($14^\circ 2' \text{ N}$, $83^\circ 22' \text{ W}$, 20 mts s.n.m.) que comenzarán a ser operativos en 1986 y 87 respectivamente, se podrá determinar en concreto el nivel de rad. global en la Zona Atlántica apoyándose en la contribución informática de El Rama.

2. Estación Vadstena. (UCA – INE), Managua.

La Tabla-2 contiene los valores medios mensuales de la insolación registrada por los diversos componentes principales de la radiación solar, a saber, rad. global, normal o directa, difusa y brillo solar. También aparecen los correspondientes valores medios diarios y los valores totales del año 1985. Por conveniencia se han incluido los valores máximos y mínimos mensuales así como sus respectivos valores medios.

En cuanto a la rad. global, los datos superiores están ubicados en el Graf-2; mientras los valores medios de cada período de 10 días mensuales y para cada componente de radiación están representados en el Graf-3. Todo lo cual facilita la apreciación de las variaciones sucesivas a lo largo del año y la comparación entre el comportamiento de cada componente de la radiación solar.

En la Tabla-2, para con la rad. global apreciamos la cantidad total anual de prácticamente 2 MWh/m^2 , un 0.3% más que en 1984 y un -1.7% del valor correspondiente al 83. El valor medio anual de 5439 Wh/m^2 , día se mantiene con respecto a su homólogo de 5407 Wh/m^2 , día en el 84 y al de 5533 Wh/m^2 , día en el 83.

Este valor medio de rad. global se conserva casi constante durante 8 meses del año, dando lugar a una curva muy aplanada en Graf-2; lo cual confirma una insolación muy constante en la región de Managua.

Por otra parte Diciembre tiene una rad. global un 13.6% menor que el valor medio anual y Marzo un 13.9% superior.

Llama la atención el valor medio del mes de Mayo, 6167 Wh/m^2 , día, así como sus correspondientes de 5908 Wh/m^2 , día en el 84 y de 6000 Wh/m^2 , día en el 83; indicando que en Managua el “invierno tropical” no comienza hasta en Junio. Lo cual no es exclusivo de Managua según se puede observar Graf-1 en las cuatro otras estaciones de la red. solar, Tabla-1, y se confirma en el reporte de 1983 [2].

En cuanto a la rad. directa constatamos una insolación anual de 1665 KWh/m^2 , mientras en 1984 se registraron 1608 KWh/m^2 y sólo 1536 KWh/m^2 en el 83.

Esto nos permite afirmar que desde 1983 hasta el presente, cada año ha habido menos nubosidad en Managua, produciéndose años más secos en total.

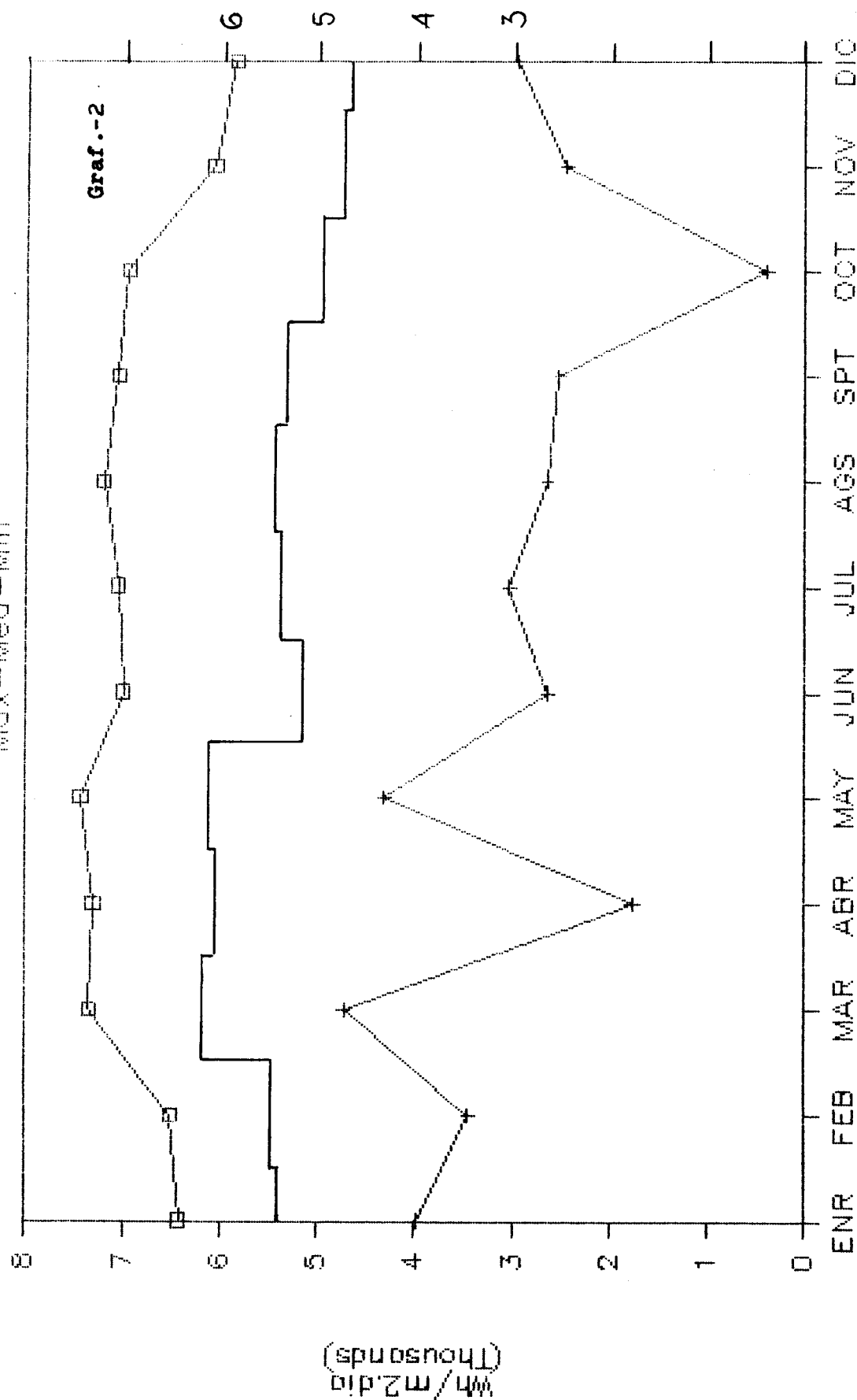
TABLA-2

Estación VADSTENA-(UCA-INE) Managua

1985	Rad. Global		Rad. Directa		Rad. Difusa		Brillo Solar-200	
	Val. Medio	Wh/m ² día	Val. Medio	Wh/m ² día	Val. Medio	Wh/m ² día	Val. Medio	hrs/día
ENR	5412	6421 Max 3996 Min	6335	8617 Max 3118 Min	1247	2149 Max 577 Min	8.52	10.84 Max 4.77 Min
FEB	5463	6517 3459	5407	7905 2419	1586	2334 953	7.43	10.23 3.97
MAR	6196	7349 4728	6000	8695 2097	1651	2849 812	8.41	11.05 3.43
ABR	6137	7309 1760	5113	8290 20	1953	2954 1161	7.78	10.97 0
MAY	6167	7436 4316	4770	7829 696	2151	3325 1275	7.66	11.04 0.41
JUN	5206	7000 2641	2943	5563 95	2500	3120 1672	4.81	9.51 0.12
JUL	5403	7052 3036	3505	6578 695	2241	3302 1548	5.58	9.81 1.10
AGT	5430	7204 2655	3644	7982 320	2148	3361 1228	5.67	10.84 0.49
SPT	5395	7066 2546	3887	7190 309	2029	3061 1267	5.90	9.69 0.58
OCT	4988	6960 404	3777	8412 0	1980	3175 357	5.70	10.95 0
NOV	4768	6076 2463	4502	8039 160	1659	2630 825	6.32	10.40 0.16
DIC	4699	5864 2966	4898	8644 565	1496	2646 682	6.72	10.71 0.75
Annual Val. Medio	5439	Wh/m ² día	4562	Wh/m ² día	1888	Wh/m ² día	6.70	hrs/día
TOTAL	1985.34	KWh/m ²	1665.17	KWh/m ²	688.98	KWh/m ²	2445.45	hrs
Val. Med Max	6854		7812		2909			10.50
Val. Med Min	2914		874		1030			1.31

Rad. Global 1985 Vadstena

Max—Med—Min



□ Val. Max. + Val. Min.

TABLA-3. Frecuencia de Días-Vadstena

	Rad. Global Wh/m ² . día ≥ ≤		Rad. Directa Wh/m ² . día ≥ ≤		Rad. Difusa Wh/m ² . día ≥ ≤		Brillo Solar ≥200 W/m ² ≥10.50 ≤1.31 hrs	
1985	6854	2914	7812	874	2909	1030		
ENR	0	0	6	0	0	8	2	0
FEB	0	0	1	0	0	1	0	0
MAR	9	0	4	0	0	1	5	0
ABL	7	1	1	1	1	0	1	1
MAY	7	0	1	1	3	0	3	1
JUN	2	2	0	2	4	0	0	2
JUL	3	0	0	2	1	0	0	1
AGT	4	1	1	4	1	0	1	2
SPT	3	1	0	1	2	0	0	1
OCT	1	1	1	2	1	2	1	2
NOV	0	2	1	2	0	4	0	3
DIC	0	0	3	2	0	5	2	2
Σ	36	8	19	17	13	21	15	15
%365	9.86	2.19	5.20	4.65	3.56	5.75	4.10	4.10

El brillo solar, con umbral de 200 W/m^2 , presentó un total de 2445 hrs en 1985, contra 2396 hrs en el 84 y 2496 hrs en el 83; todo lo cual da un valor medio anual de 2446 de brillo solar para el período de 1983–85.

La Tabla–3 muestra la frecuencia de días para cada mes, en la que los componentes de la radiación han superado el valor medio de los máximos mensuales o han sido inferiores al valor medio de los mínimos respectivos, obtenidos de la Tabla–2.

Notamos una alta frecuencia durante Marzo, Abril y Mayo con respecto al valor medio máximo de 6854 Wh/m^2 , día en la rad. global; esto corresponde a la loma de la curva superior del Graf–2. Con todo, Abril que es mes de cenit solar tuvo un día (28) con cero brillo solar; es decir un día totalmente nublado.

Haciendo uso de la última fila de la Tabla–3 y del valor medio anual de la Tabla–2, podemos calcular el valor diario más probable para cada componente de la rad. solar, a saber:

Rad. Global	=	5395 Wh/m^2 . día
Rad. Difusa	=	4478 Wh/m^2 . día
Rad. Difusa	=	1756 Wh/m^2 . día
Brillo Solar	=	6.527 hrs. día

El Graf–3 da una excelente visión de la radiación solar anual en períodos de 10 días, cuyos valores estan colocados el días 5, 15 y 25 de cada mes.

La curva de la rad. global se mantiene entre los niveles medios de 4500 y 6500 Wh/m^2 , a lo largo de todo el año, para períodos de 10 días consecutivos. Alrededor del nivel 5500 Wh/m^2 , esta curva presenta menos variaciones que su correspondiente en 1984 o en 1983, [2] y [8].

En cuanto a la rad. directa se presenta una caída notable hacia el nivel de 3000 Wh/m^2 en las dos últimas semanas de Octubre y durante Junio, correspondiendo al fin e inicio del invierno tropical. Así pues, la nubosidad fue grande durante esos períodos, como lo confirma la frecuencia de días del brillo solar en la Tabla–3.

Un comportamiento similar se dió durante Septiembre de 1984, pero no acaeció durante el 83.

No puede menos de notarse la reciprocidad entre las curvas de la rad. directa y difusa; mientras la rad. directa crece entre dos puntos sucesivos la rad. difusa descende y viceversa.

Salta a la vista el comportamiento similar entre la rad. global y el brillo solar; lo cual permite correlacionar dichas curvas en la relación de Black—Prescott y en una nueva expresión para la rad. fotosintética, como se verá más adelante.

Al comparar el Graf—3 con sus correspondientes dentro del período 83—85, encontramos entre otros los siguientes aspectos comunes.

- a) un decrecimiento de la radiación solar hacia fines de Febrero, a pesar de estar en la mitad del verano tropical.
- b) un crecimiento sensible, de corta duración (~ 10 días) situado a mediados de Nov. o Dic, según el año, a pesar de estar en el tiempo de mínima radiación extra-atmosférica.

3. Rad. Global. Frecuencia – Línea de regresión. Distribución horaria.

Más que el valor absoluto horario y diario de la rad. global, interesa la frecuencia de horas con radiación superior a ciertos niveles de energía.

La Tabla-4 contiene la distribución mensual del número de horas que superan estos niveles energéticos en la insolación global. Para cada día se han considerado 14 hrs de medición (6 am a 7 pm), ya que en Managua el día solar más largo alcanza 12 hrs 42 min. mientras el más corto se reduce a 11 hrs 17 min.

Es natural que para el rango de nivel (0–49) Wh/m² se hayan registrado 1109 hrs., puesto que al menos el 50% corresponde a las horas de salida y puesta de sol a lo largo del año.

El Graf-4 presenta la distribución de la frecuencia – nivel con un máximo de 500 hrs en la extensión (500–700) Wh/m².

Para un más extenso rango (100–900) Wh/m² se observa una constancia alrededor de 450 hrs anuales por nivel.

Llama la atención las 35 hrs con nivel ≥ 1 KWh/m² acaecidas sobre todo alrededor de los días cenit (Abril y Agosto) en Managua. En 1984 hubo 26 hrs y en 1983 sólo 17 hrs con nivel energético mayor que un kilovatio-hr por metro cuadrado.

Agrupando los registros de las frecuencias por trimestres, a partir de la Tabla-4, se han calculado las líneas de regresión entre los niveles de energía y las horas solares diarias de cada trimestre. Estas curvas, Graf-5,6,7 y 8 son muy útiles para el diseñador de sistemas energéticos solares.

Las líneas de regresión poseen un coeficiente de correlación mayor que (-.997); y a partir de estas mismas líneas se calculó el nivel energético diario para frecuencias de 2, 4,6 y 8 hrs, obteniéndose la Tabla-5.

Si para los trimestres anteriores que coinciden con las estaciones del verano e invierno tropical, tomamos las mediciones en cuanto a su valor medio horario (Wh/m²) a lo largo del día medio trimestral, formamos la Tabla-6 y su representación en el Gráf-9; donde más fácilmente observamos las diferencias horarias a lo largo del año.

1985	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT	NOV	DIC	Σ hrs
W/m^2													
0-49	123	86	71	78	79	87	89	94	98	107	93	104	1109
50-99	4	27	42	23	21	23	23	28	21	26	28	32	298
100-199	19	12	16	41	36	44	54	49	45	48	45	39	448
200-299	45	46	39	26	33	37	29	25	30	27	26	31	394
300-399	16	26	27	22	25	34	37	42	35	38	61	41	404
400-499	58	44	32	37	41	41	25	26	26	31	25	50	436
500-599	28	33	53	35	40	47	49	35	33	37	55	49	494
600-699	57	41	36	45	49	36	37	34	43	47	30	36	491
700-799	35	35	48	37	34	34	44	40	30	29	30	29	425
800-899	45	35	31	45	44	21	33	38	34	33	21	22	402
900-999	4	6	28	23	28	15	13	18	22	11	5	1	174
1000-	0	1	11	8	4	1	1	5	3	0	1	0	35
Σ hrs	434	392	434	420	434	420	434	434	420	434	420	434	5110

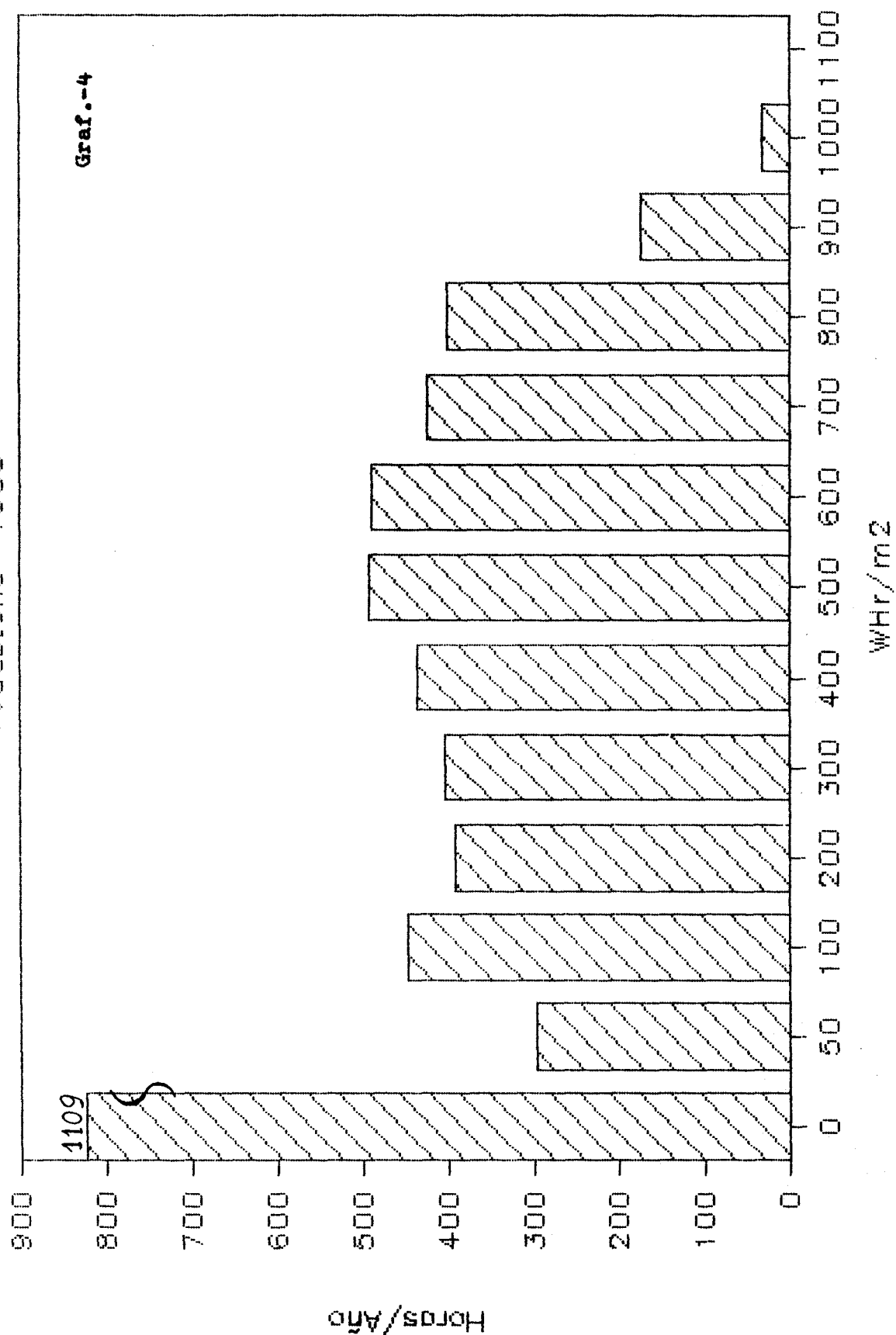
TABLA -- 4

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Rad. Global VADSTENA 1985.

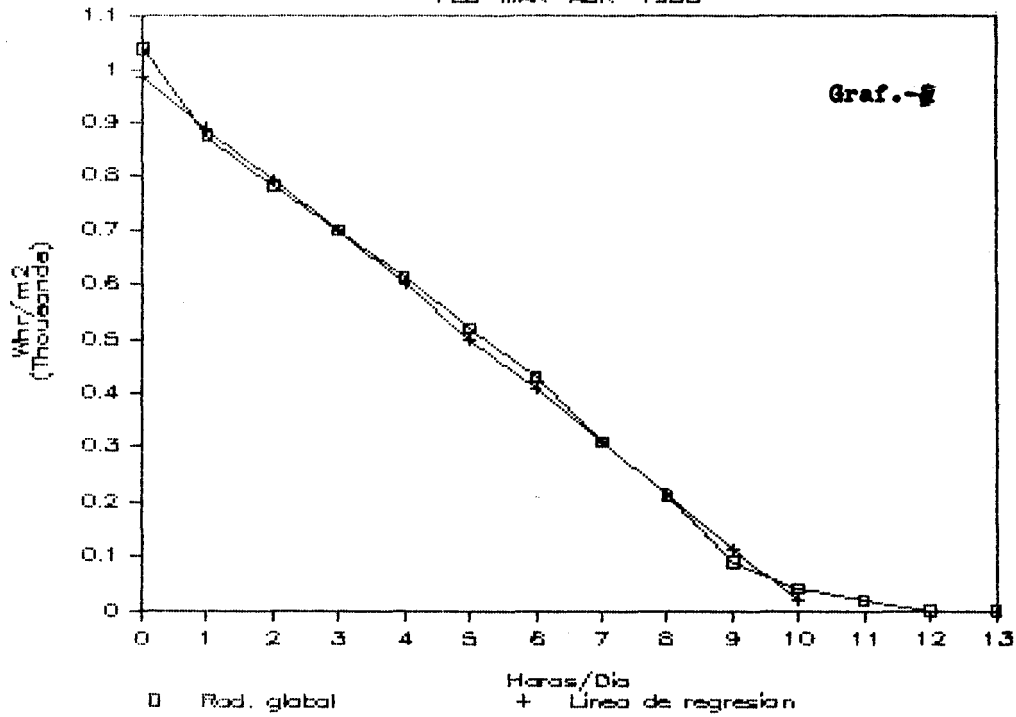
FREC.-hrs RAD.GLOBAL-w/m2

Vadstena 1985



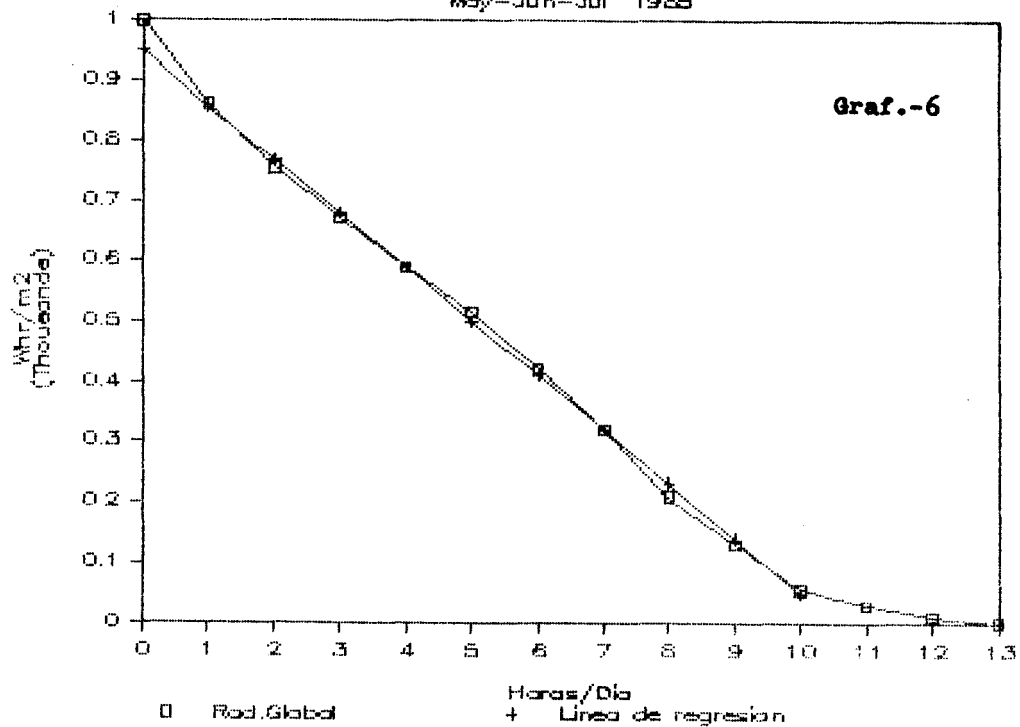
Linea de Regresion

FEB-MAR-ABR 1985



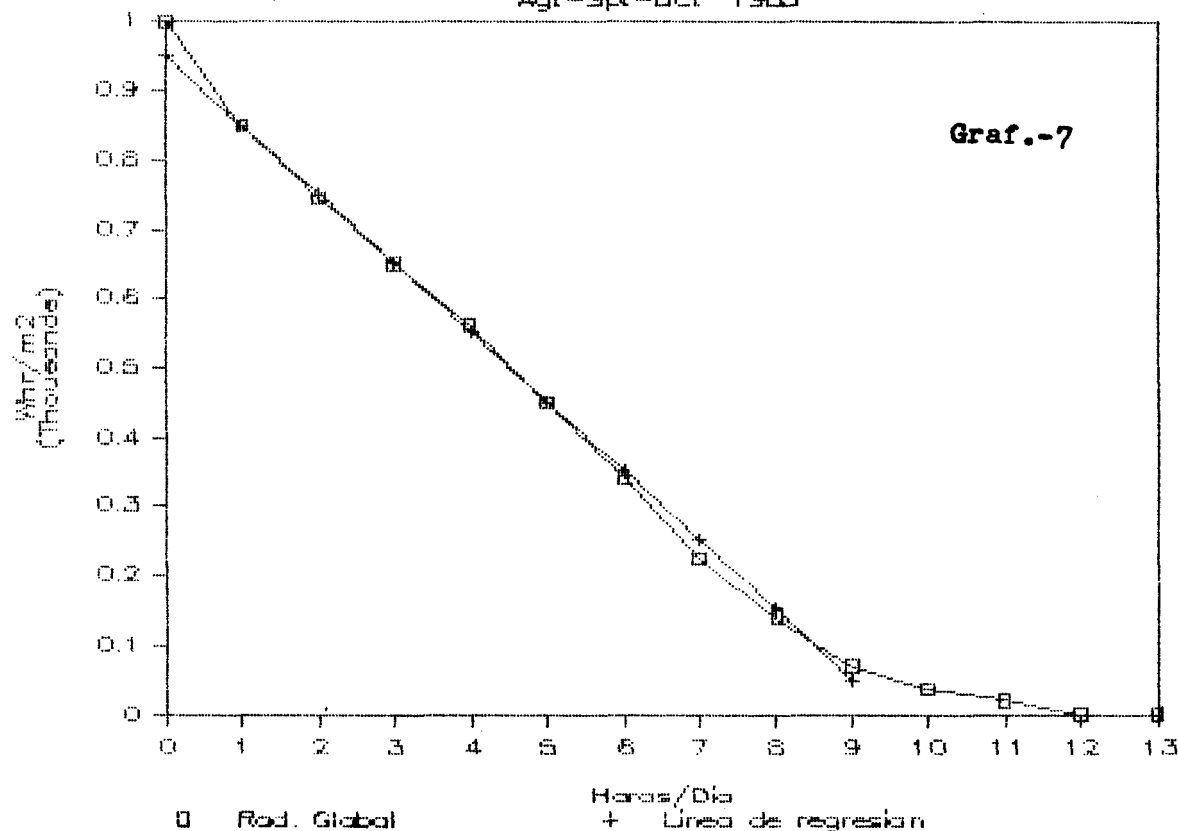
Linea de Regresion

May-Jun-Jul 1985



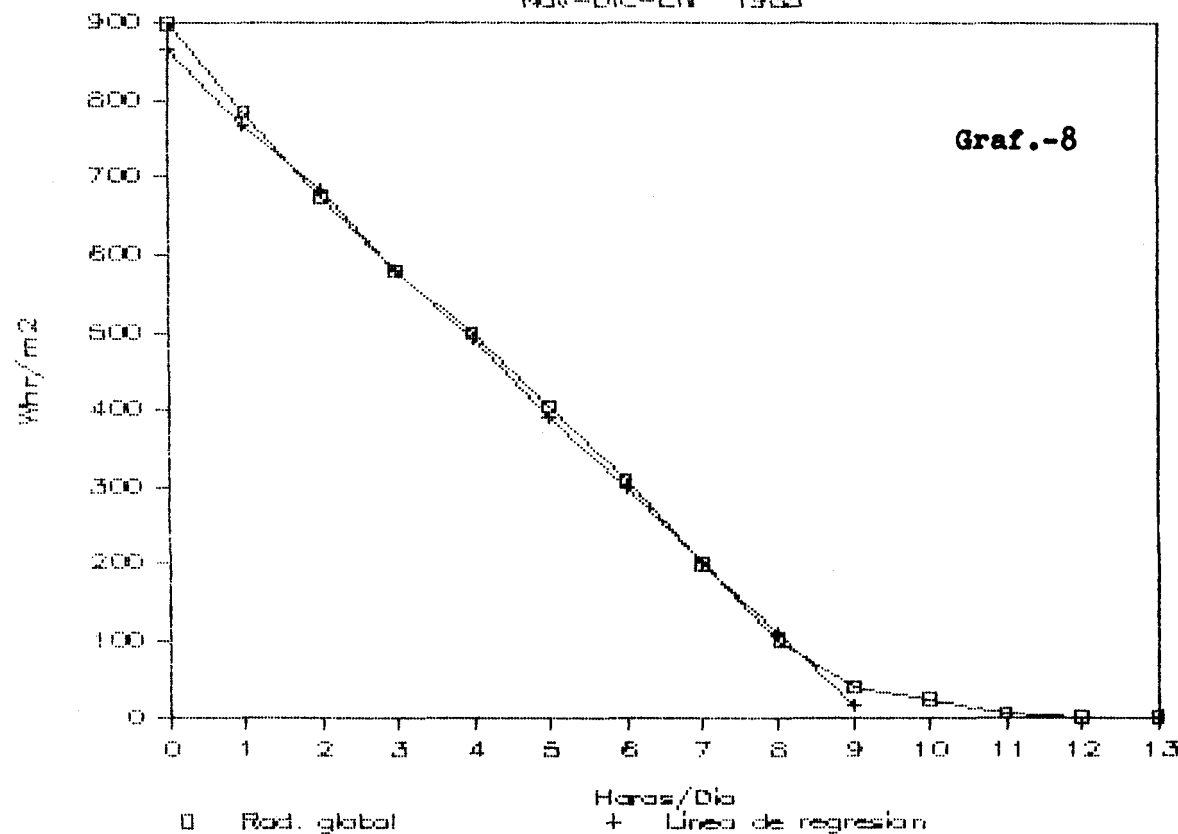
Linea de Regresion

Agt-Spt-Oct 1965



Linea de Regresion

Nov-Dic-Ene 1965



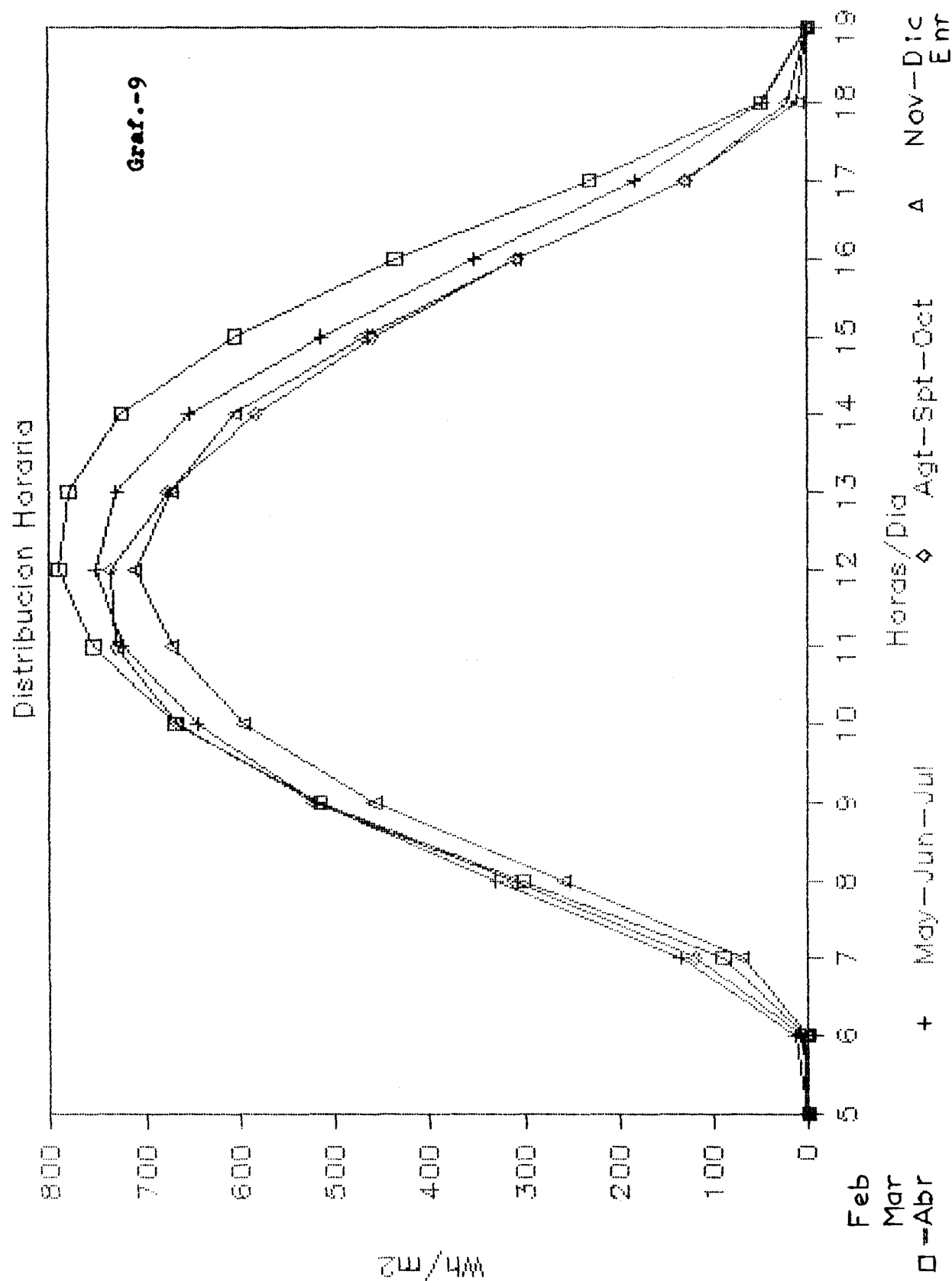
Tabla—5. Rad. Global: Frecuencia (hrs)— Nivel (W/m)

1985	2 hrs/día con nivel	.4 hrs/día	6 hrs/día	8 hrs/día	Total Diario ₂ Wh/m	Gráf
	794	601	409	216	5496	5
	769	590	411	233	5596	6
	751	551	352	152	5269	7
	685	493	301	110	4962	8

Tabla—6. Rad. Global. Distribución Horaria (W/m²)

Hora del día	5-6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18-19	Por día Wh/m ²
Feb-Mar-Abr	3	90	301	515	668	754	791	780	725	605	435	229	50	0	5946
May-Jun-Jul	15	135	330	518	645	724	753	730	653	513	351	182	47	0	5596
Agt-Spt-Oct	7	120	310	522	666	730	737	676	583	460	307	129	22	0	5269
Nov-Dic-Enr	1	70	258	459	596	671	711	673	604	470	308	130	11	0	4962

RAD. GLOBAL VADSTENA-1985



La hora representada corresponde a la hora—local, la cual coincide en Feb. con la hora solar pero se retrasa media hora en Nov; como puede apreciarse en el Graf—9 al comparar las 12 am local con el máximo correspondiente de cada curva.

Durante el período Feb. a Oct. apenas si hay diferencia notable en los valores de la rad. global horaria desde la salida del sol hasta las 11 am.

A partir del mediodía hasta la puesta del sol, tampoco hay diferencia significativa en el valor horario desde Agt. a Enero.

En general, las mayores diferencias horarias aparecen durante la segunda mitad del día, debido al aumento de nubosidad que puede producirse durante el día y sobre todo durante el invierno tropical (Mayo—Oct.).

Si sumamos los valores medios diarios de cada dos trimestres consecutivos obtenemos $(10908/2) \text{ Wh/m}^2$. día para el período de Nov. a Abril, que supera tan sólo en un 0.3% a la suma $(10865/2) \text{ Wh/m}^2$ de Mayo a Oct. Este balance energético de cada mitad de año acaeció también en 1983, pero en el 84 la diferencia creció hasta un 3.6%

Así pues, todo indica que en Managua hay tendencia a registrar durante la primera mitad del año, a partir de Mayo, una cantidad de rad. global igual ($\pm 3\%$) a la medida durante la segunda mitad anual, Nov. a Abril. Notamos que estas mitades anuales casi coinciden con las dos estaciones climatológicas locales.

Esta observación puede resultar interesante para el diseñador de sistemas energéticos solares y para las construcciones arquitectónicas en Managua.

4. Rad. Directa. Frecuencia. Línea de regresión. Distribución horaria.

La Tabla—7 presenta la frecuencia (hrs) con respecto a los diferentes rangos de nivel energético (Wh/m^2) para con el componente de radiación directa o normal y cuya representación es el Graf—10.

La cantidad de 1527 hrs para el nivel $\leq 50 \text{ W/m}^2$ corresponde sobre todo a las dos primeras y últimas horas del día, a lo largo del año.

En la extensión de rangos energéticos (100 a 800) W/m^2 apreciamos una frecuencia casi constante de 430 hrs para cada nivel.

Es de notar que hubo 51 hrs registradas para el nivel $\geq 900 \text{ W/m}^2$, superior a las correspondientes 33 hrs observadas en 1984 y muy superior a la 1 hr registrada durante el 83.

Solamente en el mes de Enero se llegó a 19 hrs del total anual de las 51 hrs; lo cual indica que hubo entonces días muy limpio y claros, a pesar de que el componente directo de la radiación atravesó una mayor masa de atmósfera al ser la declinación media solar de -20°

Al agrupar las frecuencias por trimestres, como se hizo para la rad. global, y excluyendo los valores extremos se han calculado las líneas de regresión, Graf—11, 12, 13 y 14; los coeficientes de correlación son superiores a $(-.997)$. A partir de estas líneas de regresión se obtiene la Tabla—8, que es de utilidad en el diseño de sistemas térmicos solares. Aparece claramente la presencia de la nubosidad durante los trimestres del invierno tropical (Mayo—Oct) ya que la rad. directa descende un 20% diario con respecto al valor medio del verano.

La distribución horaria media Wh/m^2 , para los mismos trimestres considerados, está contenida en la Tabla—9 formada a partir de los registros y representada en el Graf—15. Se distingue muy claramente el valor horario del invierno y del verano tropical, con una diferencia de aproximadamente 150 W/m^2 para las horas entre las 8 am y 4 pm.

Por otra parte, si sumamos los montos medios diarios para cada dos semestres consecutivos (Feb—Jul) y (Agt—Enr) observamos que el valor medio diario de esta primera mitad de año es tan solo un 2.6 % mayor que su correspondiente en la segunda mitad del año; mientras en 1984 la primera mitad fue un 0.3% menor y en 1983 un 8.2% menor que la segunda mitad.

Ciertamente, 1985 fué un año más soleado que el 84 y el 83.

1985	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	OCT	NOV	DIC	Σ hrs
² W/m													
0-49	86	70	71	102	97	168	163	173	153	173	141	130	1527
50-99	18	16	17	13	25	26	19	22	22	29	19	15	241
100-199	39	50	23	22	40	51	36	33	33	26	20	25	398
200-299	15	35	50	41	35	41	44	29	32	31	41	45	439
300-399	25	30	34	34	43	38	45	39	33	28	38	35	422
400-499	28	26	42	50	59	30	36	31	33	34	28	33	430
500-599	42	53	51	55	46	33	39	32	39	33	24	34	481
600-699	45	37	53	56	38	21	34	38	34	38	43	38	475
700-799	60	47	45	29	38	12	16	24	31	25	32	36	395
800-899	57	27	37	12	13	0	2	13	10	16	31	33	251
900-999	19	1	11	6	0	0	0	0	0	1	3	10	51
1000-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ hrs	434	392	434	420	434	420	434	434	420	434	420	434	5110

TABLA - 7

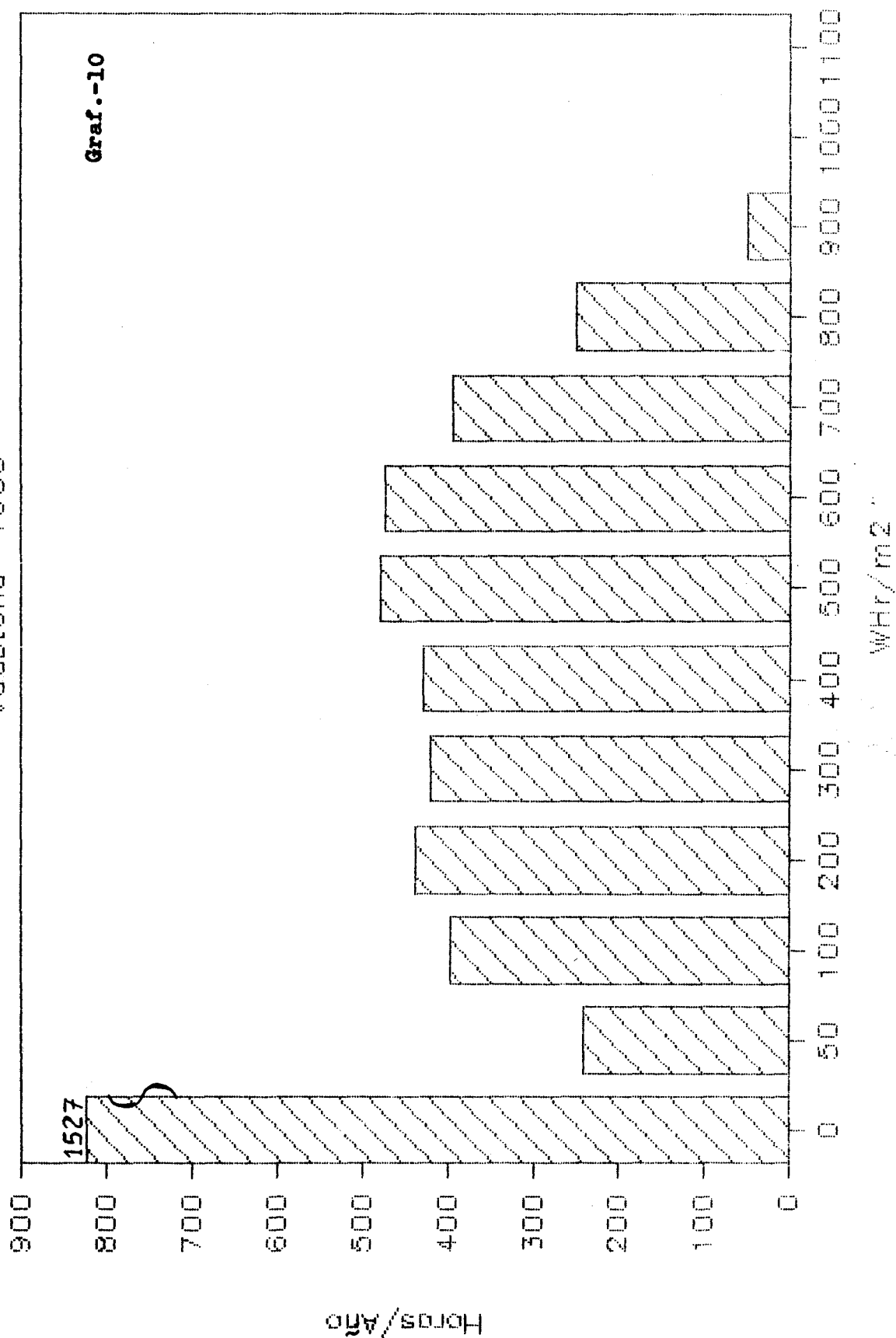
DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Rad. Directa VADSTENA 1985

FREC.-hrs RAD.DIRECTA-w/m2

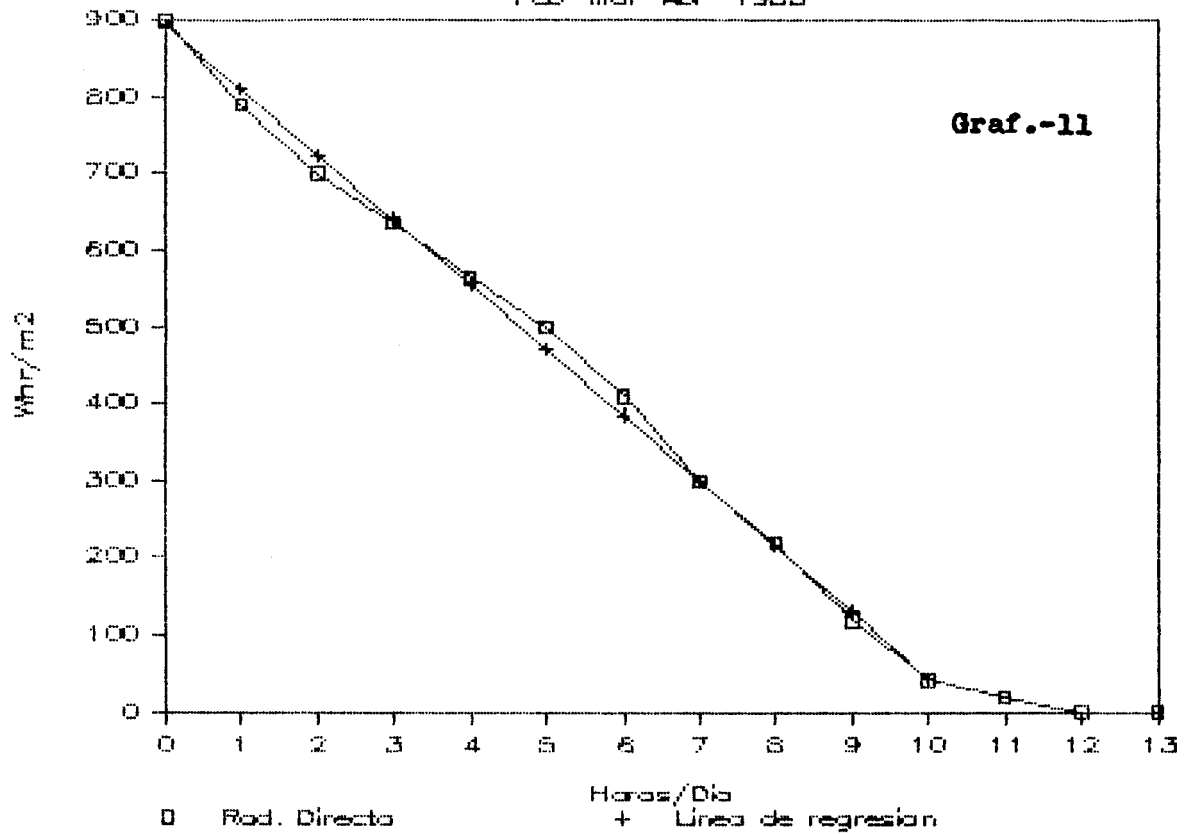
Vadstena 1985

Graf.-10



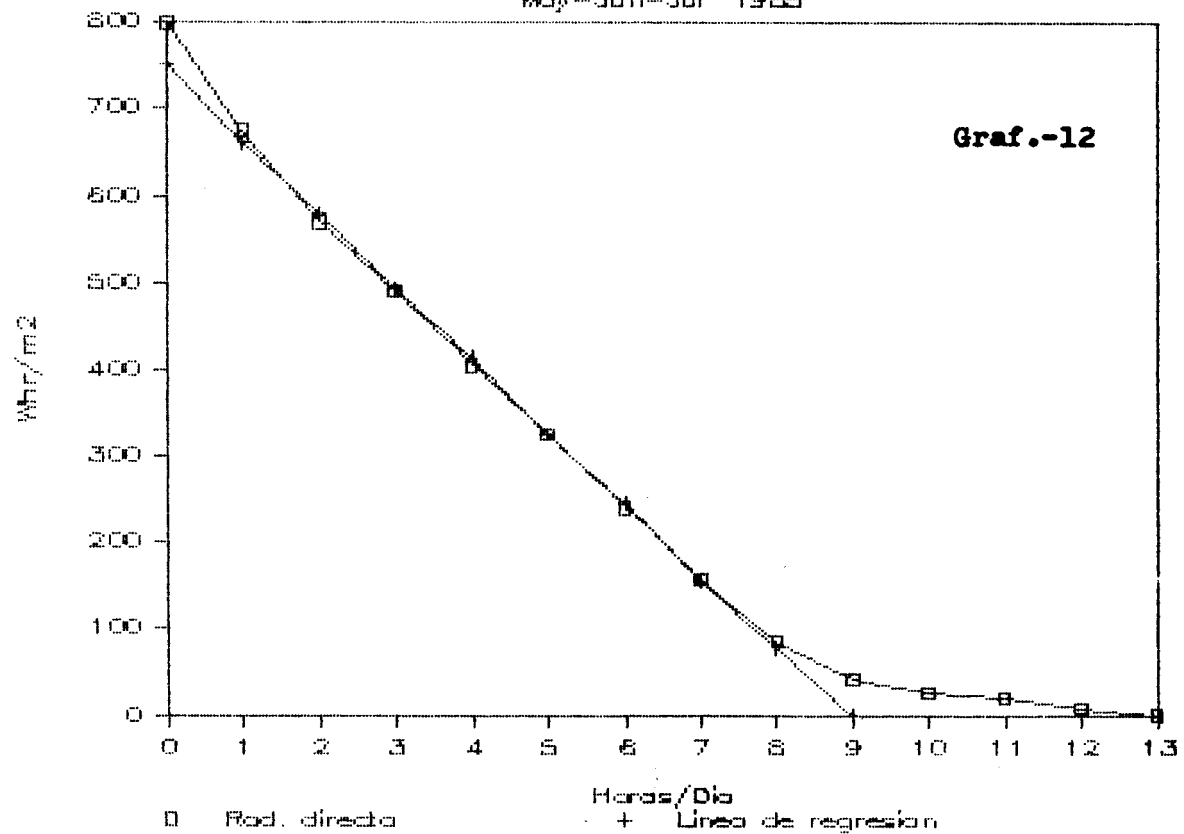
Línea de Regresion

Feb-Mar-Abr 1985



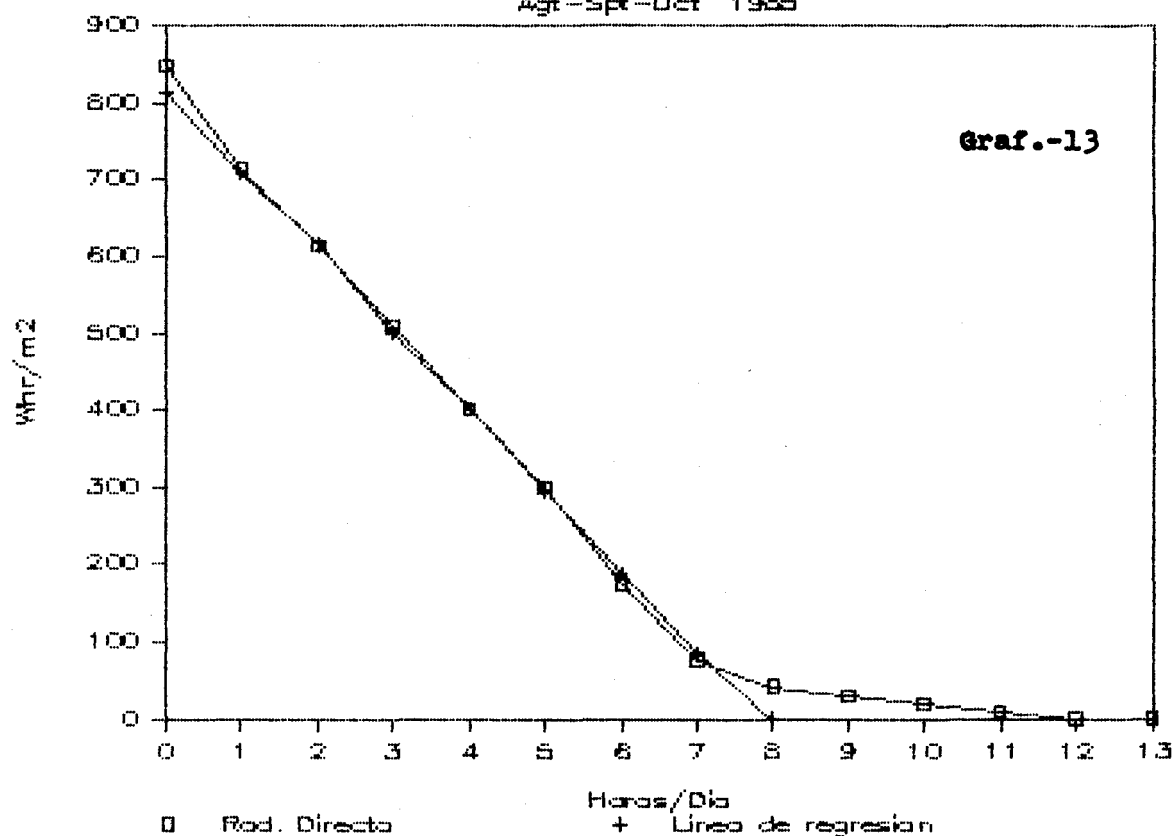
Línea de Regresion

May-Jun-Jul 1985



Línea de Regresion

Agt-Spt-Oct 1985



Línea de Regresion

Nov-Dic-Ene 1985

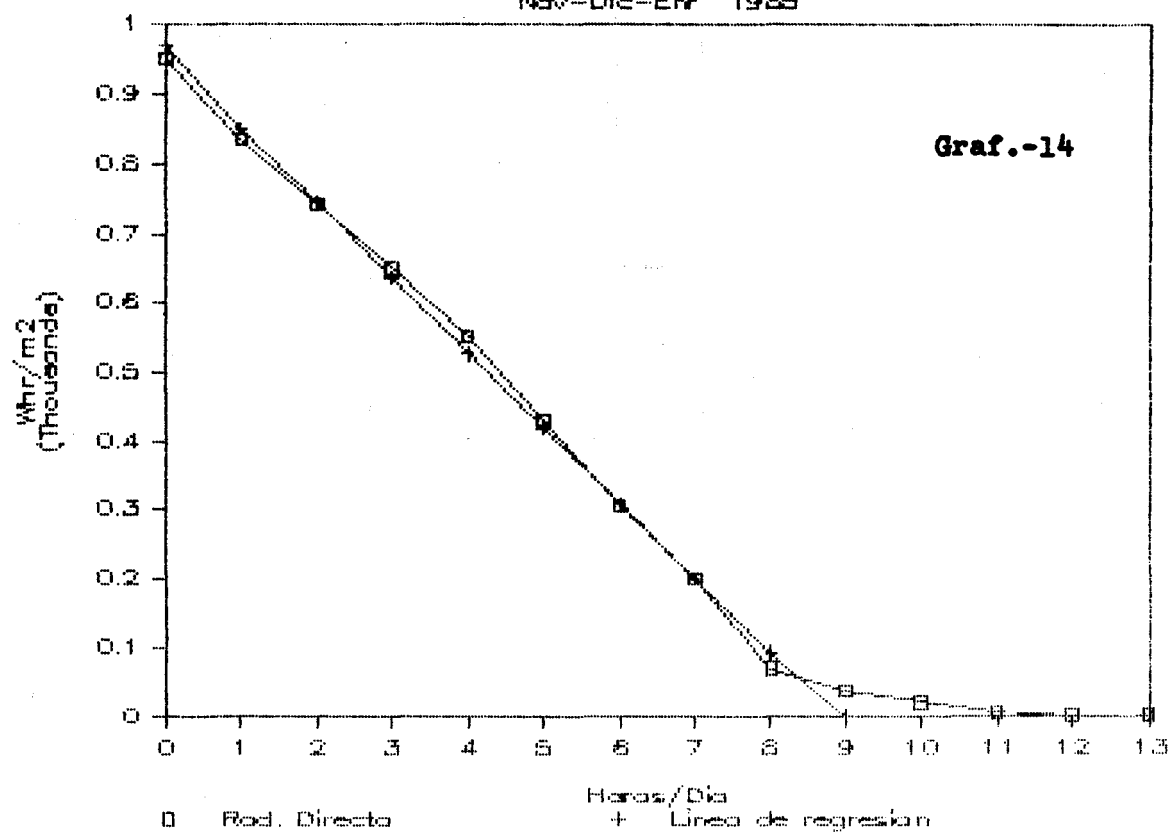


Tabla-8. Rad. Directa:Frecuencia (hrs) - Nivel (W/m^2)

1985	2 hrs/día con nivel	4 hrs/día	6 hrs/día	8 hrs/día	Total Diario ₂ Wh/m	Gráf
Feb-Mar-Abr	723	554	385	216	5514	11
May-Jun-Jul	582	414	246	78	3747	12
Agt-Spt-Oct	617	402	187	42	3764	13
Nov-Dic-Enr	743	526	310	93	5253	14

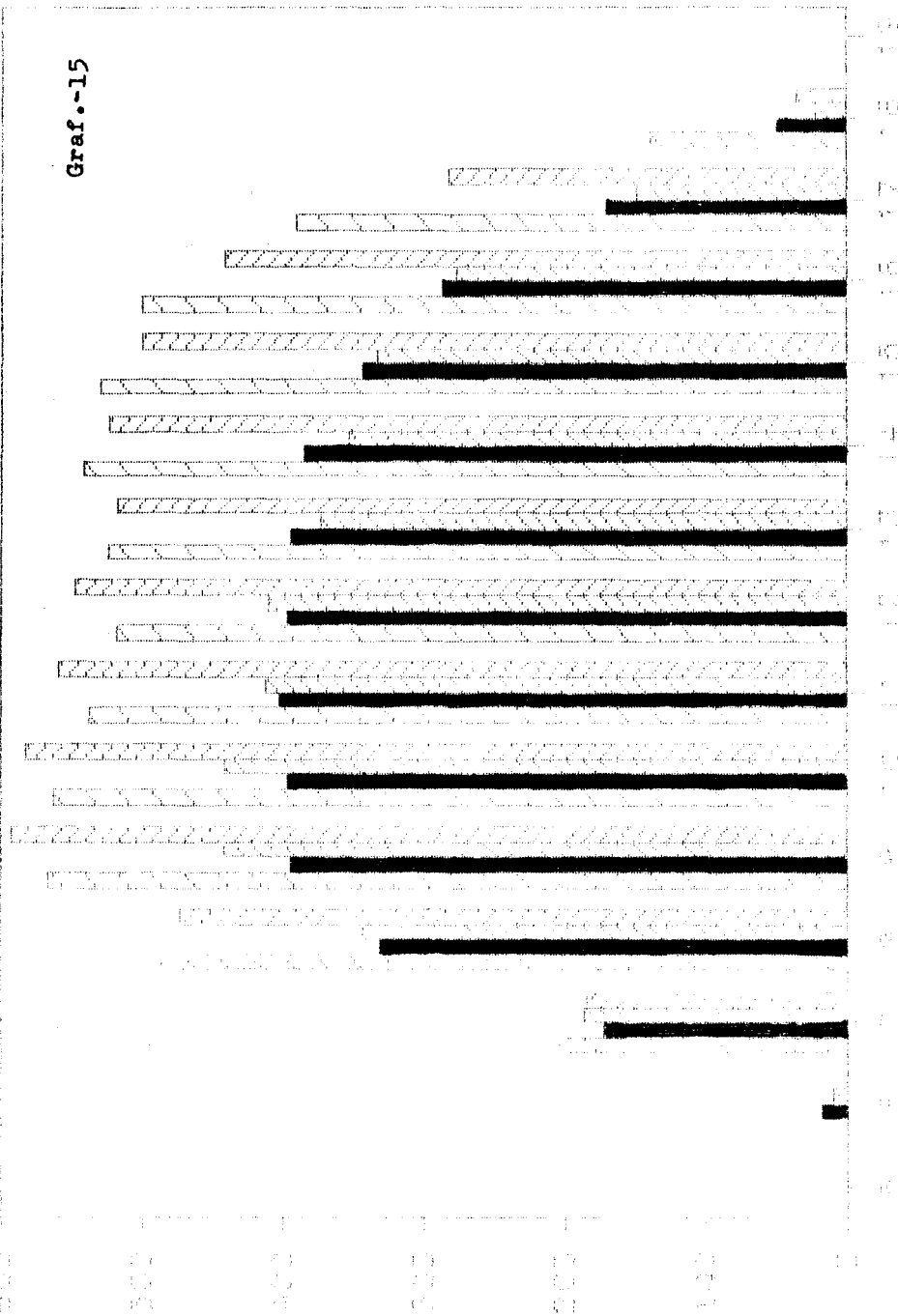
Tabla-9. Rad. Directa. Distribución Horaria (W/m^2)

Hora del día	5-6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18-19	Por día Wh/m ²
Feb-Mar-Abr	5	206	487	567	563	538	518	524	542	530	502	392	140	0	5514
May-Jun-Jul	18	173	332	395	396	402	397	395	386	344	288	171	50	0	3747
Agt-Spt-Oct	10	188	345	442	443	413	411	374	353	335	278	149	23	0	3764
Nov-Dic-Enr	0	186	474	593	584	560	547	519	525	502	443	284	36	0	5253

RAC. DIRECTA VADSTENA-1985

Distribucion Horaria

Graf.-15



Feb
Mar
Apr

Horas Dia

May-Jun-Jul-Aug-Sep-Oct

Nov-Dec
Entr

5. Rad. Difusa. Frecuencia. Línea de Regresión y Distribución Horaria.

La frecuencia (hrs) de la rad. difusa con respecto a niveles energéticos que se diferencian en 50 W/m^2 , está presentada mes a mes en la Tabla-10 y representada en el Gráf-16.

Notamos en la Tabla-10 que durante el 91 % del tiempo la rad. difusa es inferior a los 300 Wh/m^2 . Por otra parte, para 214 hrs (4% del total) la rad. difusa sobrepasa los 350 Wh/m^2 ; y de éstas corresponden 179 hrs al invierno (May-Oct). Lo cual es debido a la nubosidad atmosférica propia de esta estación climatológica y a la elevada rad. global extra-atmosférica. Por consiguiente una disminución de rad. directa por nubosidad provoca un aumento relativo de la rad. difusa.

El Gráf-16 nos da una visión de la distribución de las frecuencias, que tiene forma de escalones descendentes a medida que aumenta el nivel energético considerado. Siendo las variaciones de la rad. difusa, a lo largo del año (Gráf-3), mucho menores que para la rad. global y rad. directa, se han agrupado las frecuencias en cuatrimestres. Excluyendo los valores extremos de las frecuencias totales se han calculado las líneas de regresión y los coeficientes de correlación han resultado mayores que (-.955). A partir de las líneas de regresión se ha formado la Tabla-11, donde observamos una uniformidad entre Marzo y Octubre, con un descenso del 28% en el valor medio diario entre Nov. y Feb.

La distribución horaria de los valores medios forman la Tabla-12 y esta representada en el Gráf-17, donde notamos la conformidad del comportamiento cuatrimestral con lo dicho para la Tabla-11. La disminución de la rad. difusa entre Nov. y Feb. se debe a una menor rad. extra-atmosférica durante este período y a unos meses de mayor claridad atmosférica.

Como la iluminación natural en el interior de los edificios tiene por fuente principal el componente de la rad. difusa, los Gráf-16 y 17 ayudan considerablemente en el diseño del tamaño de ventanas, patios, tragaluces, etc.

Al considerar con respecto a la energía difusa, la relación entre la energía del espectro visible (400-700 nm) y la energía correspondiente del espectro total, si tenemos en cuenta la distribución de la curva universal de iluminación, podremos estimar la iluminación del cielo ambiental de Managua; a saber a las 12 del mediodía:

Nov-Dic-Enr-Feb : 16.77 K lux
Mar-Abr-May-Jun : 21.64 K lux
Jul -Agt-Spt-Oct : 21.68 K lux

1985	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SPT	OCT	NOV	DIC	Σ hrs
W/m^2													
0-49	140	113	121	100	95	97	93	108	105	126	134	139	1371
50-99	133	78	93	83	57	43	57	62	66	81	78	98	929
100-149	70	64	74	55	73	46	56	57	51	41	67	67	721
150-199	44	60	62	57	66	43	67	52	62	54	46	49	662
200-249	39	45	34	66	61	53	51	55	55	39	36	41	575
250-299	3	23	34	25	30	51	57	48	42	37	35	22	407
300-349	4	6	8	15	27	45	34	15	25	26	16	10	231
350-399	1	3	5	11	17	22	12	25	6	17	3	7	129
400-449	0	0	2	5	7	16	5	9	5	9	5	1	64
450-499	0	0	1	3	1	4	2	3	3	2	0	0	19
500-549	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
550-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Σ hrs	434	392	434	420	434	420	434	434	420	434	420	434	5110

TABLA - 10
DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Rad. Difusa VADSTENA 1985.

FREC.-hrs RAD.DIFUSA-w/m2

Vadstena 1985

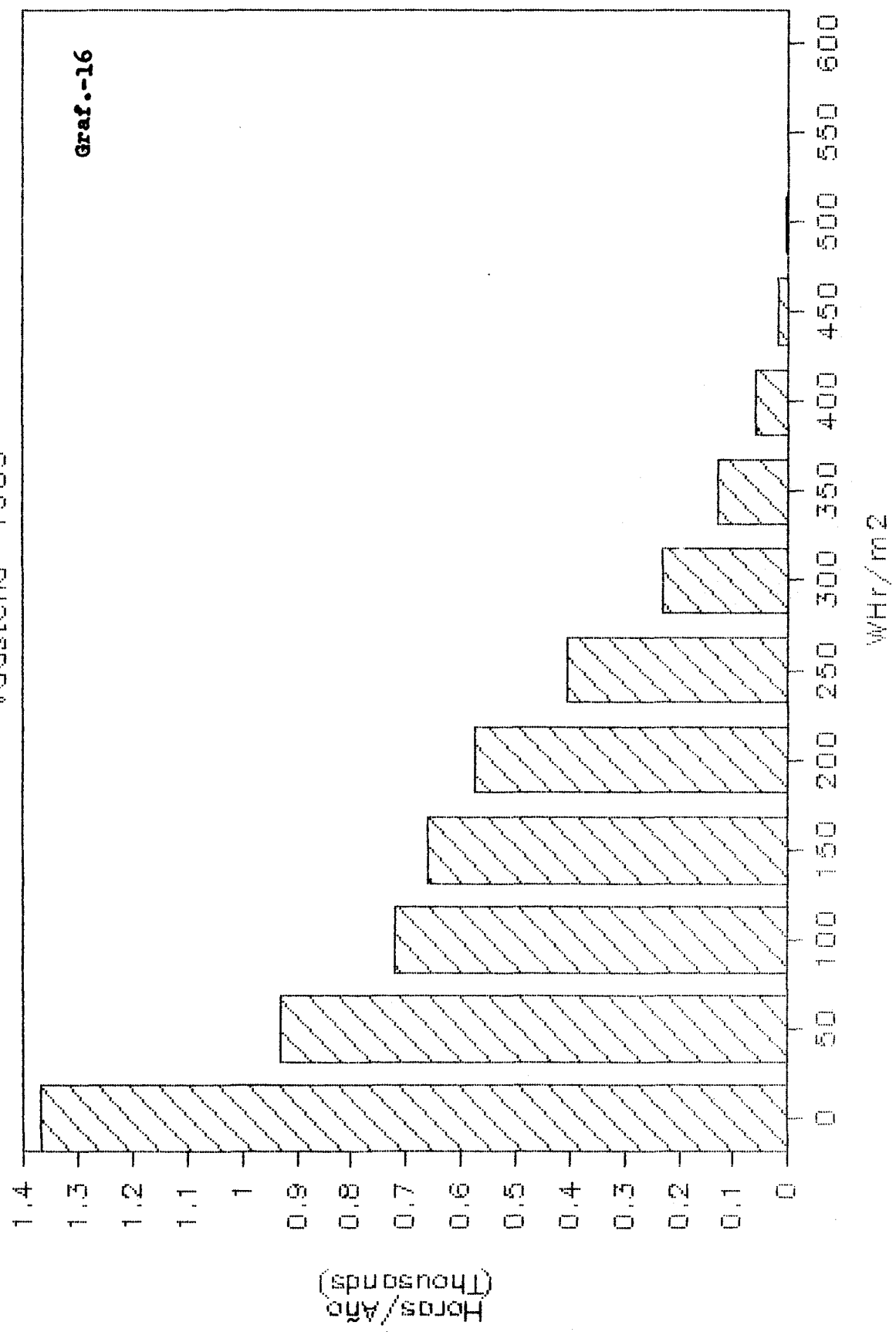


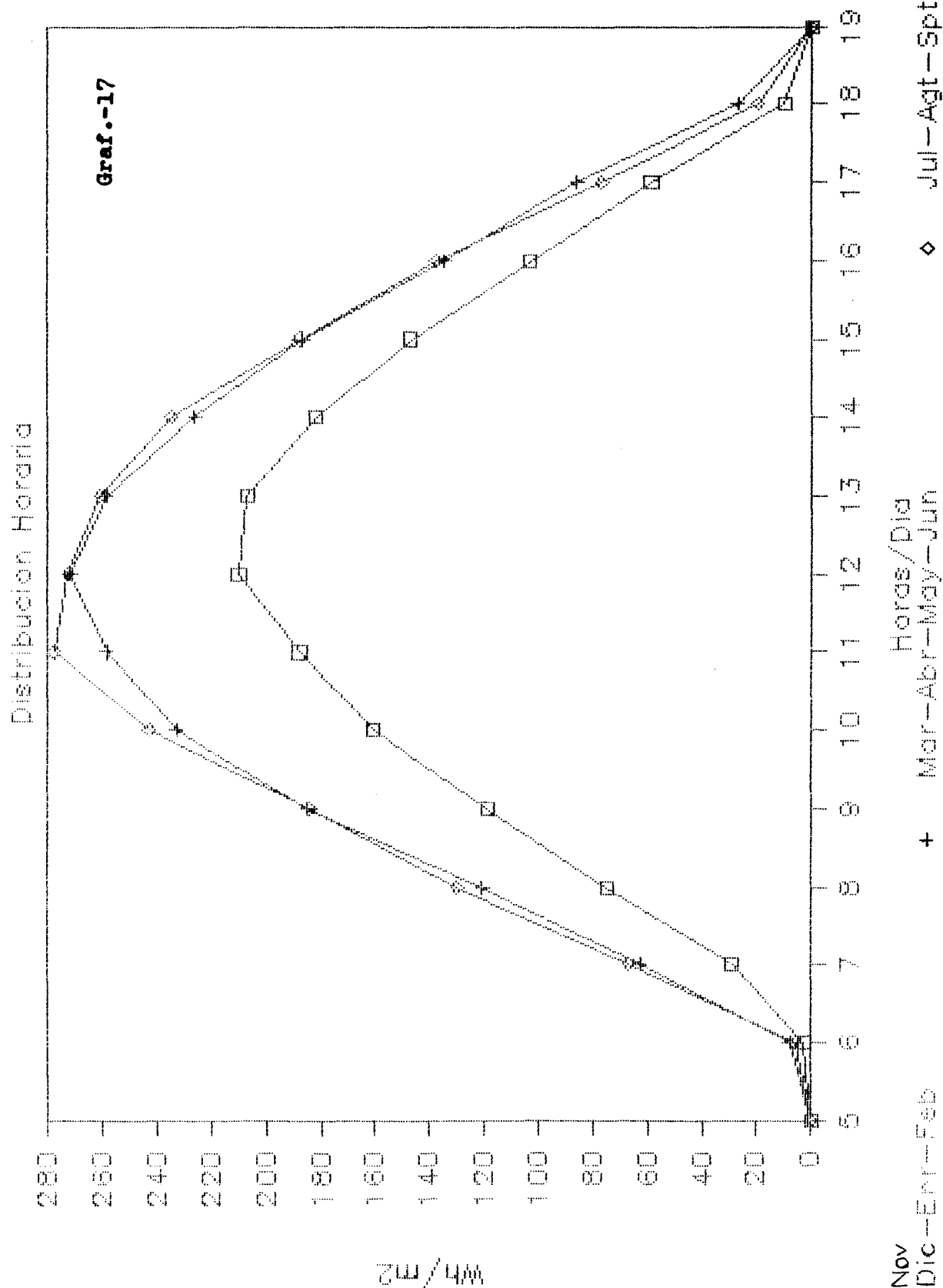
Tabla-11. Rad. Difusa: Frecuencia (hrs) - Nivel (W/m^2)

1985	2 hrs/día con nivel	4 hrs/día	6 hrs/día	8 hrs/día	Total Diario Whr/m^2
Nov-Dic Enr-Feb	231	158	86	13	1493
Mar-Abr May-Jun	293	221	148	76	2061
Jul-Agt Spt-Oct	297	222	148	73	2100

Tabla-12. Rad. Difusa. Distribución Horaria (W/m^2)

Hora del día	5-6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18-19	Por día Wh/m^2
Nov-Dic. Enr-Feb	3	29	75	119	161	188	210	207	182	147	103	59	10	0	1493
Mar-Abr May-Jun	8	63	121	185	233	259	272	259	226	187	135	86	27	0	2061
Jul-Agt Spt-Oct	6	67	130	184	243	278	273	261	235	188	138	77	20	0	2100

RAD. DIFUSA VADSTENA-1985



6. La Relación Black-Prescott

Según podemos ver en el Graf-3, las curvas de la rad. global y del brillo solar aparecen con un comportamiento muy semejante a lo largo de todo el año.

Basándose en las consideraciones de Angström sobre la correlación entre la rad. global y el brillo solar, Black y Prescott propusieron la relación.

$$G/G_o = a_o + b_o \cdot S/S_o \quad (1)$$

donde:

G_o = rad. global extra-atmosférica sobre superficie plana, W/m^2

G = rad. global terrestre sobre superficie plana, W/m^2

S = la duración del brillo solar (umbral $\geq 200 W/m^2$), hrs

S_o = número de horas de sol correspondientes a S y para un hemisferio despejado, hrs

a_o, b_o = dos parámetros locales.

Así pues en (1) hay dos cantidades medidas, G y S , y dos magnitudes calculadas, a saber:

$$G_o = I_o (2/15 \cdot w_o \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta + 24/\pi \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin w_o) \quad (2)$$

donde:

I_o = $1370 W/m^2$, la constante solar

w_o = $\cos^{-1} (-\tan \varphi \cdot \tan \delta)$ °hrs (3)

φ = ángulo de latitud local

δ = ángulo de la declinación solar, obtenido de:
 $23.45^\circ \cdot \sin (360 \times (284 + n) / 365)$ (4)

n = el número del día del año

$$S_o = 2/15 \cdot w_o \quad (5)$$

TABLA - 13

ENR	a_o	b_o	$a_o + b_o$	Correlac.
1-10	.3141	.4401	.7542	.9573
11-20	.2746	.4977	.7723	.9852
21-31	.2962	.4618	.7580	.9741
$\overline{a_o}$.2950	$\overline{b_o}$	$\overline{a_o + b_o}$.9722
FEB				
1-10	.2288	.5626	.7914	.9748
11-20	.3637	.3564	.7201	.9503
21-28	.1967	.6065	.8032	.9495
	.2678	.5015	.7693	.9588
MAR				
1-10	.2133	.5685	.7818	.9430
11-20	.1743	.5911	.7654	.9478
21-31	.3528	.3881	.7409	.9641
	.2502	.5118	.7620	.9516
ABR				
1-10	.3148	.4160	.7308	.9504
11-20	.1531	.6236	.7767	.9582
21-30	.2356	.5796	.8152	.9482
	.2345	.5397	.7742	.9522
MAY				
1-10	.3588	.3482	.7070	.9135
11-20	.3572	.3621	.7193	.9287
21-31	.3523	.3450	.6973	.9378
	.3560	.3515	.7075	.9270
JUN				
1-10	.3220	.4490	.7710	.9386
11-20	.3112	.4326	.7438	.8891
21-30	.3199	.4260	.7459	.8806
	.3177	.4358	.7535	.9270
JUL				
1-10	.2430	.5412	.7842	.9779
11-20	.3139	.4311	.7450	.8000
21-31	.3234	.4100	.7334	.9292
	.2944	.4591	.7535	.9032
AGT				
1-10	.2923	.4815	.7738	.9519
11-20	.3130	.4154	.7284	.9806
21-31	.2550	.5321	.7871	.9514
	.2857	.4781	.7639	.9610

SPT	a_o	b_o	$a_o + b_o$	Correlac.
1-10	.2964	.4880	.7844	.9233
11-20	.2666	.5146	.7812	.9555
21-30	.2292	.5757	.8049	.8981
	.2640	.5261	.7901	.9256
OCT				
1-10	.3569	.3782	.7351	.9569
11-20	.3644	.3553	.7197	.9347
21-31	.2184	.6083	.8267	.9005
	.3101	.4525	.7626	.9297
NOV				
1-10	.2989	.4882	.7871	.9247
11-20	.3161	.4194	.7355	.9632
21-30	.3440	.3804	.7244	.9667
	.3196	.4293	.7489	.9448
DIC				
1-10	.3591	.3605	.7196	.9783
11-20	.3085	.4598	.7683	.8735
21-31	.2989	.4646	.7635	.8306
	.3214	.4295	.7509	.8920
FEB-MAR-ABR	.2508	.5177	.7685	.9542
MAY-JUN-JUL	.3227	.4155	.7382	.9110
AGT-SPT-OCT	.2866	.4856	.7722	.9388
NOV-DIC-ENR	.3120	.4417	.7537	.9364
AÑO 1985	.2927	.4651	.7581	.9351
AÑO 1984	.3100	.4487	.7588	.9260
AÑO 1983	.3297	.4205	.7502	---
1983-1985	.3105	.4449	.7557	---
95% Certeza: Límite Sup.	.3467	.3916	.7743	---
Límite Inf.	.2734	.4939	.7362	---

La ecuación (1) puede aplicarse a intervalos diversos de tiempo, como de una hora, día, mes o año, al calcular a_o y b_o .

Si escogemos, por experiencia local, un período de 10 días como la duración de un comportamiento homogéneo de la rad. global, entonces a partir de los 10 pares de coordenadas ($Y_i = G/G_o$, $X_i = S/S_o$) calculamos la línea de regresión correspondiente a cada 10 días.

La Tabla-13 contiene los valores calculados de a_o y b_o para los períodos indicados y se ha incluido la suma ($a_o + b_o$) y el coeficiente de correlación.

Debajo de cada mes aparecen los valores medios habiendo considerado el peso de cada período para tomar en cuenta la variación diurna mensual.

Podemos apreciar los valores de los parámetros y de la correlación para cada trimestre considerado en la rad. global.

Para el período 1983-85 se han anotado los valores medios y los límites superior e inferior con una certeza del 95%, después de haberles calculado en cada año por separado.

Vemos que para 1983-85 a_o tiende hacia .310, b_o hacia .445 y la suma $a_o + b_o$ hacia .756. Estos valores están de acuerdo con los obtenidos por Page según aparecen en [3].

Aplicando (1) al mes de Julio-85:

$$G_{mes} = G_{o_{mes}} (\bar{a}_o + \bar{b}_o \times S_{mes}/S_{o_{mes}}) \quad (6)$$

$$\bar{a}_o = .2944; \bar{b}_o = .4591 \text{ (Tabla-13)}$$

$$S_{o_{mes}} = 12.632 \text{ hrs}; S_{mes} = 5.58 \text{ hrs (Tabla-2),}$$

$$G_{o_{mes}} = 10.81332 \text{ KWh/m}^2 \text{ día, ecuación (2)}$$

Introduciendo en (1) obtenemos $G_{julio} = 5376.7 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$, mientras el valor registrado (Tabla-1) es $5403 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$, es decir con un error de -0.34%

Si repetimos la consideración para el mes de Enero-85, obtenemos $G_{enero} = 5456.0 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$, mientras el valor medido en la Tabla-1 fue de $5412 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$; error + 0.8%

La fórmula propuesta por Reitveld [4]:

$$K_t = 0.18 + 0.62 Sh \quad (7)$$

no parece convenir a la localidad tropical de Managua sobre todo durante el "invierno tropical" (ver Tabla -14).

7. Rad. Fotosintética Activa. Correlación con Kt y Nt

Se han estudiado las mediciones de la rad. fotosintética (Ph) entre Junio-84 y Mayo-85.

La sonda empleada fue un sensor Quantum, L1-190SB, que mide la rad. fotosintética activa (PAR) en la banda (400-700) nm en unidades $\mu\text{E/s.m}^2$; con un error espectral relativo $< \pm 1\%$ y con una calibración absoluta $\pm 5\%$. El muestreo fue registrado cada 6 seg durante las 24 hrs diarias.

Según Mc Cree, [5], el factor de conversión es $4.6 \mu\text{E/sm}^2 = 1 \text{ W/m}^2$.

Tomando las medidas en grupos de 10 días, se ha organizado la Tabla-14, donde:

$P_t = (\text{Ph}/4.6) / G_o$:	Factor de Fotosíntesis Activa
$P_H = (\text{Ph}/4.6) / G$:	Factor de Iluminación Activa
$K_t = G/G_o$:	Factor de Claridad Celeste
$S_h = S/S_o$:	Factor de Brillo Solar (umbral $\geq 200 \text{ W/m}^2$)
$N_t = 1 - S_h$:	Factor de Nubosidad.

En la Tabla-14, P_H presenta una dispersión entre .4572 y .4864 para períodos de 10 días, con un valor medio $\overline{P_H} = 0.4711$ dentro de los 365 días considerados. Siendo normal la distribución de los valores de P_H alrededor de $\overline{P_H}$, es posible calcular con un 95% de certeza los dos límites:

límite superior de $P_H = .4742$

límite inferior de $P_H = .4680$

Al correlacionar los 36 valores de PAR: $(\text{Ph}/4.6)$ con sus correspondientes de la rad. global (G), obtenemos un coeficiente de 0.9998.

Blackburn [6] ha estudiado los registros de 186 días, encontrando una correlación de 0.99 entre la rad. fotosintética activa (300-700) nm y la rad. global; con un valor medio diario de $\overline{P_H} = 0.47$ y una variación horaria entre .45 para días muy claros y hasta .54 para días muy oscuros.

La correspondencia natural entre la iluminación y el Brillo Solar nos permite escribir la siguiente relación:

$$P_t \equiv (\text{Ph}/4.6) / G_o = A_o + B_o \cdot S/S_o \quad (8)$$

TABLA – 14

JUN-84	Pt	PH	Kt	Nt
1-20	.256515	.478642	.535925	.502330
11-20	.236845	.486378	.486957	.578590
21-30	.219075	.483237	.453350	.683206
JUL-84				
1-10	.224017	.484019	.462827	.682369
11-20	.257099	.475203	.541032	.501840
21-31	.218145	.482138	.452453	.692840
AGT-84				
1-10	.218848	.478105	.457743	.664200
11-20	.254852	.478261	.532876	.488223
21-31	.241758	.477681	.506092	.571385
SPT-84				
1-10	.215742	.480813	.448695	.698028
11-20	.240160	.479486	.500863	.565050
21-30	.200480	.483511	.414646	.691125
OCT-84				
1-10	.259451	.479184	.541290	.453489
11-20	.286913	.476736	.601828	.373047
21-31	.262587	.479149	.548026	.481563
NOV-84				
1-10	.296755	.472676	.627866	.300078
11-20	.259923	.476510	.545415	.457359
21-30	.303040	.473579	.639924	.260206

DIC-84	Pt	PH	Kt	Nt
1-20	.280488	.471133	.595355	.340211
11-20	.260380	.470855	.552996	.460409
21-31	.247874	.472671	.524413	.497692

ENR-85

1-10	.289319	.463184	.624623	.295252
11-20	.307699	.462165	.665782	.217003
21-31	.301019	.463499	.649426	.240674

FEB-85

1-10	.281403	.459366	.612587	.323600
11-20	.274548	.460474	.596217	.379904
21-28	.266286	.461742	.576692	.378769

MAR-85

1-10	.264653	.461581	.573338	.371545
11-20	.299515	.459999	.651125	.197290
21-31	.285293	.459531	.620841	.313813

ABR-85

1-10	.275808	.462700	.597284	.324349
11-20	.279582	.457623	.610944	.266236
21-30	.239164	.459122	.520919	.507683

MAY-85

1-10	.277578	.457190	.607148	.286669
11-20	.252307	.464671	.542980	.486783
21-31	.262758	.468128	.561290	.394214

y aplicando a (8) los valores correspondientes de la Tabla – 14, obtenemos para la línea de regresión:

$$A_o = .160808 ; B_o = .179784 ; A_o + B_o = .340592$$

con una correlación $CF = .970157$.

Pero la expresión (8) relaciona PAR con el valor de la rad. global extra-atmosférica y por lo general se dispone de la medición local de la rad. global y del Brillo Solar. Por tanto, interesa analizar el comportamiento de la variable $PH = (Ph/4.6) / G$.

Considerando constante y homogéneo el espectro solar, en la iluminación natural del ambiente intervienen cuatro factores principales, a saber:

La claridad celeste (K_t) y la altura solar en relación directa; la nubosidad (N_t) que, si bien disminuye el valor de G , aumenta la iluminación a través de un espectro de difusión, y el albedo (Ab) de los alrededores que reflejan la luz de vuelta hacia el cielo.

Estas consideraciones nos llevan a establecer la siguiente expresión diaria:

$$PH \equiv (Ph/4.6) / G = C_o + D_o \cdot K_t + E_o \cdot N_t + F_o \cdot Ab \quad (9)$$

Si por consideraciones del lugar natural de la estación Vadstena despreciamos la mínima contribución del albedo [7], nos queda:

$$PH = C_o + D_o \cdot K_t + E_o \cdot N_t \quad (10)$$

Estimando un comportamiento homogéneo durante cada período de 10 días, para los valores de la Tabla – 14, el plano de regresión nos da:

$$PH = .3706 + .1063 K_t + .0938 N_t \quad (11)$$

donde $C_o + D_o + E_o = .5707$; con un error típico estimado de 0.0055 y una correlación múltiple de 0.7877 para PH con respecto a K_t y N_t .

El máximo error relativo entre PH y el valor estimado por (11) es $< 3.2 \%$ y el error medio es de 0.92%.

Así pues, la ecuación (11) expresa la variación diaria de la rad. fotosintética activa (PAR), normalizada según la rad. global, con respecto a la claridad K_t y a la nubosidad N_t .

Para un día totalmente despejado N_t tiende hacia cero y $K_t \leq .8$, obteniéndose por (11) $PH = (Ph/4.6) / G = .4556$; mientras para días muy nublados N_t tiende hacia la unidad y $K_t \geq .35$, dando $PH = .5261$.

En efecto, al analizar un día muy soleado (21–Enr–85) con $N_t = .0639$ y $K_t = .7100$, los valores horarios de PH varían entre .4543 y .4638 para alturas solares mayores que 10° dando un valor medio de $\overline{PH} = .4603$.

Por el contrario, en el caso de un día muy nublado (21–Nov–84) y sin precipitación [7], con $N_t = .7720$ y $K_t = .4095$, PH varía horariamente entre .4834 y .5004; con un valor medio de $\overline{PH} = .4907$ para alturas solares mayores que 10° .

Como podemos observar estos valores están de acuerdo con los referidos por Blackburn [6]. Por otra parte resulta interesante notar que Nagaraja [7] obtiene como valor medio diario $PH = .457$ para un período de tres años, con una variación entre .443 para días claros y .483 para días cubiertos.

8. Resultados – 1985

Red Solar en Nicaragua. (INE)

Rad. Global:	Ocotol	Chinandega	Managua	San Carlos	El Rama
Anual ² KWh/m	1943.43	1947.76	1985.34	1651.32	1400.73
Media Diario Wh/m ²	5324.44	5336.32	5439.28	4524.16	3836.05

Estación Vadstena. Managua: (UCA–INE)

<u>a. Radiación</u>	Global	Directa	Difusa	Brillo Solar
Anual Kwh/m ²	1985.34	1665.17	688.98	2445.45 hrs
Diario-Med Wh/m ²	5439	4562	1888	6.70 hrs
Diario-Probable Wh/m ²	5395	4478	1756	6.52 hrs

b. Frecuencia

Hrs/año con nivel :	≥50 W/m ²	≥200 W/m ²	≥400 W/m ²	≥600 W/m ²	≥800 W/m ²
Rad. Global	4001	3255	2457	1527	611
Rad. Directa	3583	2944	2083	1172	302
Rad. Difusa	3739	1427	85	0	0

c. Iluminación Ambiental al Mediodía: Estimación

Nov–Dic–Enr–Feb	:	16.77	k lux
Mar–Abr–May–Jun	:	21.64	k lux
Jul–Agt–Spt–Oct	:	21.68	k lux

d. Relación Black–Prescott. $G/G_o = A_o + B_o \cdot S/S_o$

$$1985: A_o = .2927 \quad B_o = .4651 \quad A_o + B_o = .7581 \quad \text{Correlac} = 0.9351$$

$$1983-85 : A_o = .3105 \quad B_o = .4449 \quad A_o + B_o = .7557$$

e. Rad. Fotosintética Activa (PAR)

$$\text{Junio-84-Mayo-85: Valor Medio/día} = 11723 \mu\text{E/s.m}^2$$

$$\text{Invierno (May-Oct): } 11742 \mu\text{E/s.m}^2$$

$$\text{Verano (Nov-Abr) : } 11704 \mu\text{E/s.m}^2$$

$$\text{Rad. Fotosintética(Ph) vers. Rad. Global (G) : Correlac} = 0.9998$$

$$P_t \equiv (\text{Ph}/4.6) / G_o = .1608 + .1798 S/S_o \quad \text{Correlac} = 0.9701$$

f. Relación de la Iluminación Activa (PH)

$$PH \equiv (\text{Ph}/4.6)/G = 0.3706 + .1063 Kt + 0.0938 Nt$$

$$\text{Correlac. Múltiple} = 0.7877$$

$$\text{Error típico estimado} = 0.0055$$

$$\text{Error relativo medio} = 0.92\%$$

$$\text{Valor medio de PH} = 0.4711$$

9. Conclusiones

Se ha completado el tercer año de mediciones solares. A través de la red solar en Nicaragua se han obtenido registros fiables y coordinados entre las diversas estaciones de la red.

En la zona del Pacífico se confirma la estabilidad anual de la radiación solar durante el período 1983–85, con una cantidad de 2 MWh/m^2 por año. Cada mitad anual, (Feb–Jul) y (Agt–Enr) registra una rad. global total equivalente.

Aparecen tres zonas solares específicas, con San Carlos situado en la línea divisoria del comportamiento de la rad. solar entre la Zona del Pacífico y del Atlántico.

El valor medio diario de la rad. global en la Zona Central montañosa se estima en 4500 Wh/m^2 . día, en comparación con 5400 Wh/m^2 . día en la Zona del Pacífico y 3800 Wh/m^2 . día hacia el Atlántico.

1985 ha sido un año “más soleado” que los dos anteriores, pero con una rad. solar anual menor que en 1983.

Los coeficientes de la relación Black – Prescott ($A_0 = .2927$ y $B_0 = .4651$) presentan una dispersión menor que en años anteriores.

Se ha calculado la variación de la rad. fotosintética activa (Ph) con respecto a la suma de la claridad atmosférica (Kt) y la nubosidad (Nt); obteniéndose un valor medio diario de $PH = 0.4711$ a lo largo de un período anual.

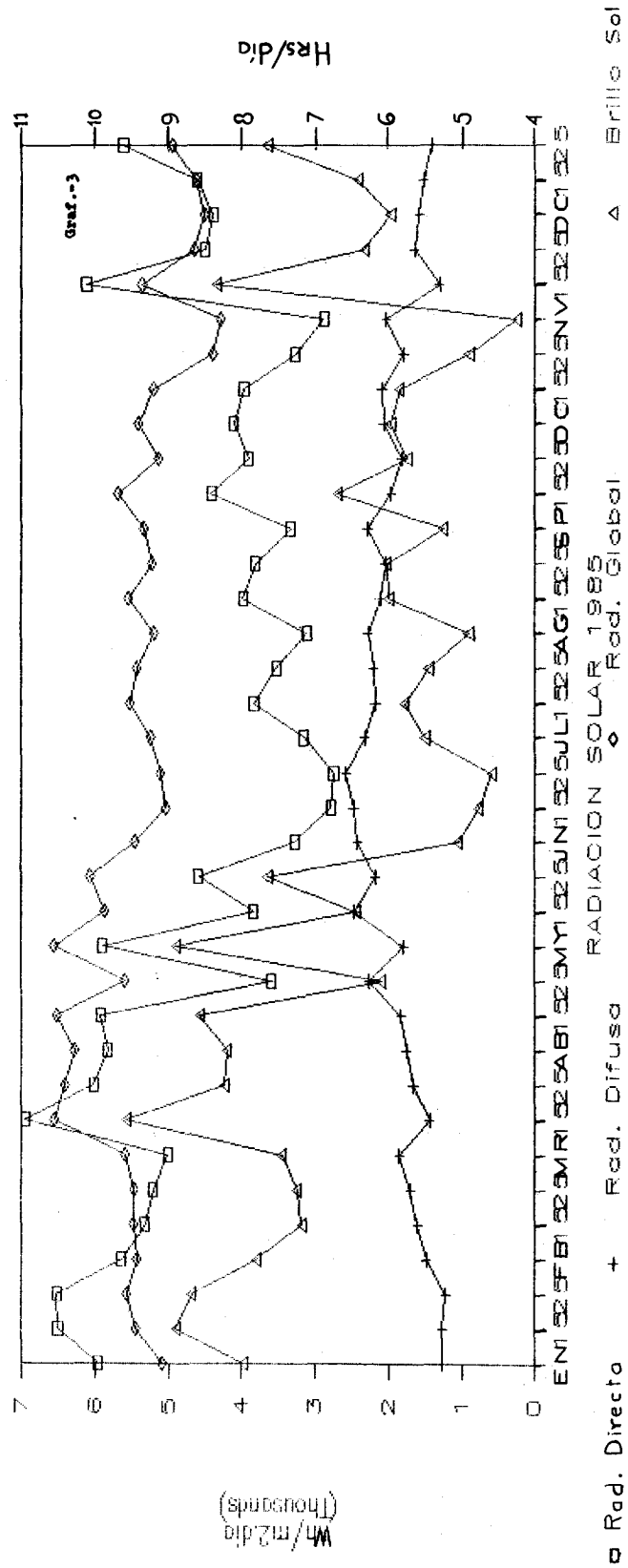
La estación Vadstena está prácticamente automatizada con el almacenamiento, a medianoche, de la información diaria en un disco magnético.

Se están ultimando los programas para el procesamiento de los datos registrados, su impresión y representación gráfica.

10. Bibliografía

- [1] H.Z. Tabor (1984) "Why Solar Energy?"
Sun World – Vol 8, N° 1, p 5–8
- [2] J. López d.l. F.(1984) "Radiación Solar en la Zona del Pacífico –
Nicaragua. 1983". UCA, Managua. Rept. 07/84
- [3] H. Hawas,T. Muner (1983) "Correlation between global radiation and
sunshine data for India"– Solar Energy,
Vol. 30, N° 3, p 289–290.
- [4] C.Y. Ma, M. Iqbal (1984) "Statistical Comparaison of Solar Radiation
Correlations"– Solar Energy – Vol 33, N° 2,
p 143–148.
- [5] LI – COR Publication (1979) "Radiation Measurement"
LI–COR Inc–Nebraska – USA.
- [6] W. Blackburn (1983) "Estimating photosynthetically active radiation
from measured solar irradiance"
Solar Energy, Tech Note, Vol 31, N° 2, p 233–
234.
- [7] C.R. Nagaraja Rao (1984) "Photosynthetically Active Components of
Global Solar Radiation"Arch. Met. Geoph. Biocli.
Ser. B. 34, p 353–364
- [8] J. López d. l. F. (1985) "Frecuencia y Radiación Solar en Managua–1984"
UCA, Managua, Rept. 01/85
- [9] World Meteorological
Organization (1981) "Meteorological Aspect of the Utilization of Solar
Energy as an Energy Source" – WMO–N° 557–
Genève, Suisse.

VADSTENA UCA-INE



Agradecimiento

El presente reporte no hubiera sido posible sin la cooperación económica de la fundación gubernamental sueca SAREC y la ayuda técnica del SMHI, Norrköping, Suecia.

Es de estimar la colaboración que, en el campo de la energía solar, se da entre el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) y la Universidad Centroamericana (UCA).

Agradecemos a Francis Sierra (INE) su labor de recolección de datos, a Sergio Torrez (INE) y a Leopoldo Herrera (INE) el continuo cuidado de los aparatos así como el mantenimiento de la red solar y de la estación Vadstena.

A César Robelo (UCA) se le debe gran parte de la preparación de los datos mensuales y programas de computación.

No podemos olvidar a Adolfo López de la Fuente, S.J. (UCA) por sus continuas observaciones y sugerencias ante los problemas cotidianos que son inherentes a este proyecto solar.

El Departamento de Planificación e Investigación de la UCA aportó el estímulo propio de una investigación universitaria.

*Julio López de la Fuente, S.J.
Director Estación Vadstena (UCA-INE)
UCA-Managua. Nicaragua
25 - Abril - 1986*